Proceedings of the

5th Robotour Workshop

held within the Robotics in Education conference

Editor: Richard Balogh

Sept. 19th, 2010
Bratislava, Slovakia

Published by:
Robotika.SK, o.z.
http://robotika.sk/robotour

Credits:
Cover design: David Jablonovský
Cover photo: Richard Balogh
LaTeX editor: Richard Balogh
using LaTeX's 'confproc' class

September 2010

CONTENTS

Robotour - robotika.cz outdoor delivery challenge

Jiří Iša
Faculty of Mathematics and Physics, Charles University in Prague
Malostranské náměstí 25, 118 00 Praha 1
Czech Republic
Email: isa@ktiml.mff.cuni.cz

Martin Dlouhý
MapFactor s.r.o.
Štefánikova 24, 150 00 Praha 5
Czech Republic
Email: md@robotika.cz

***Abstract*—In this paper, we present an international contest for autonomous robots: Robotour – robotika.cz outdoor delivery challenge. The main task is a navigation in real-world situations. First three years were held in park Stromovka, Prague, Czech Republic and raised an interest of many teams, media and general public. Last year, the contest started to migrate. To our knowledge, there is no similar European outdoor contest for fully autonomous machines. Note, that there are some common features with American Mini Grand Challenge and a younger Japanese Real World Robot Challenge. The rules of Robotour are described in more detail together with experience gained over the past four years – both from the organizers' and the participants' point of view.**

Keywords: autonomous robots, outdoor, international competition

I. Introduction

Competitions such as Eurobot [1] and DARPA Grand Challenge [2] have repeatedly shown that both young students and senior researchers are attracted by competitive research environments. Autonomous robotics is a multidisciplinary domain which offers educational opportunities and interesting real-world research topics.

In 2004, the American Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) organized the first Grand Challenge. The goal of DARPA was to foster a research in fully autonomous vehicles. In the first year, only 11.78 km of the 240 km long route were completed by the best team. Already in the second year of the competition (2005), five vehicles finished the 212 km long route. This shows a tremendous impact the challenge has had on the field of fully autonomous ground vehicles.

Since 1994, the Eurobot competition attracts many young people (more than 2000 in year 2010) [3]. Eurobot has successfully shown how an international competition can be used to teach young people how to cooperate and how to develop complex systems.

In 2006, the Robotour – robotika.cz outdoor delivery challenge has been founded. In our opinion, the large gap in complexity between Eurobot-like competitions (e.g. RobotChallenge [4], Istrobot [5] and other) and competitions like DARPA Grand Challenge needed to be bridged. In about the same time, other organizers felt similar insufficiency and more competitions were born. Since 2003, Field Robot Event focuses on the agricultural automation [6]. Since 2006, European Land Robotic Trial allows research teams and industrial companies to demonstrate their unmanned outdoor systems in realistic scenarios and terrains [7]. One year after Robotour – in 2007 – Tsukuba Real World Robot Challenge (RWRC) took place in Japan for the first time [8]. Since 2009, a similar straight line outdoor challenge takes place in Písek, Czech Republic [9].

Robotour – robotika.cz outdoor challenge is focused on autonomous ground vehicles and their orientation in the real-world outdoor environment. The robots perform a delivery task in complex environments of city parks. They are not allowed to leave paved roads. Participants of various background are welcome. In the previous years, students from high schools, university researches and hobbyists took part.

In this paper, we describe the Robotour – robotika.cz outdoor delivery challenge. General rules are covered in Section II. In Section III, we share experience obtained from the organizers' point of view. Reflections of the participants are captured in Section IV.

II. Rules

A. Historical Overview

The rules for each year change slightly and the contest becomes more and more challenging every year. The unified theme of all years is robot's ability to autonomously navigate in outdoor environments and to move payload from one place to another. The robots have to be fully autonomous, which means that after a task entry they have to control themselves.

Since the first year, the basic requirement is to navigate on paved roads in the park without leaving them – similar to cars not leaving the streets. In the second year, a possibility of robot cooperation was introduced. In the third year, obstacles were added and robots had to deal with them successfully. In the fourth year, robots did not know exactly their start position and had to deal with obstacles more carefully.

The fifth year of this contest should be a next step towards smarter and more autonomous robots. In contrast to the previous years, the robots get only a map and coordinates of the destination. The robots should be able to navigate around the park even if they have never been there before. The map and the destination should be the only information the robots get before the start. Robot successfully solving this task should be able to demonstrate its ability with a corresponding map in any park.



Fig. 1. A simple map of the Lužánky park in Brno given to the participants in 2009.

B. Detailed Rules

1) Task: The task for the robots is to deliver payload in a given limit of 30 minutes to a destination as far as 1 km. Robots must be fully autonomous, not leave a road and choose correct path on junctions. The starting place, starting time and the destination will be the same for all the robots.

2) Map: Vector map of footpaths in a park will be based on a vectorization of an ortophotomap and teams could improve it further. The basic idea is taken from Open Street Map [10]. A robot is allowed to use only this shared map – all other maps are prohibited!

3) Robots: A team can deploy multiple robots this year, but only a single designated one is used to compute a score. Every robot must have an emergency stop button, which stops its motion. The button must be easily accessible, red and must form a fixed part of the robot (aka Big Red Switch), so it could be used in a case of a danger. The team must show that it is easy to manipulate with the robot – two people must be able to carry it several tens of meters. There is also a minimal size – robot has to carry 5l beer barrel (at least an empty one).

4) Leaving the Road: The robots are expected to stay "on the road" which means to stay on the paved passage ways. If any robot leaves the road, its trial ends. The team has to take care of their robot and remove it immediately.

5) Obstacles: There could be obstacles on the road. Besides natural obstacles like benches there could also be artificial obstacles. A typical (artificial) obstacle is for example a figurant, a banana paper box or another robot. Robots must not touch an obstacle. Contact with an obstacle means an end of a trial. The robot may stop in front of an obstacle and visually or acoustically give a notice. Note, that the robot has to detect, that the obstacle is no longer present.

6) Robots Interaction: Situations, in which a faster robot catches up with a slower one, will not be explicitly handled. The faster robot can handle the slower robot as an obstacle, i.e. avoid it or wait until the "obstacle" disappears. In general, the road rules will be respected: right of way, avoidance to the right, passing on the left.

7) Start: All robots will start from the same park road simultaneously. A minimum width of this road is 3 meters. The starting area for each team will measure approx. 1.5×1.5 meters. Starting areas will follow one after another on one side of the road. Within the starting area, each team can place its robot as they see fit. The order of the robots on the start is given by their results in the previous round (a better robot will be closer to the destination). The order in the first round will be given by the order of successful homologation. Robots start automatically via their internal timers. During the last minute before the start, no interaction with the robot is allowed.

8) Score: The team, whose robot manages to proceed along the route best, wins. The aerial distance of the last position of the robot (leaving the road, a collision or a time-out) to the destination is critical. For every meter towards the destination, a team gets one point. If the team carries a payload, its score is doubled ("points for the payload"). Each robot can carry only one "payload". A 5l beer barrel (full) serves as a payload. In every round, a robot can obtain points at most equal to twice the aerial distance of the start and the destination.

9) Organization: The contest will consist of four trials for each team. The start and destination will be different for every trial. The selected destination will be announced to all teams 10 minutes before the start. The speed of the robots is not important (actually, it is limited to 2.5 m/s). All points gained during all trials will be summed together. The trial starts at a specified time and ends after 30 minutes. The robot must leave the starting area within 10 minutes of the start. If the robot does not move for 60 seconds its trial ends. Each team has to arrange for one person familiar with the rules that will be part of the referee team during the competition.

10) Homologation: A team can participate in the contest only if it is able to score at least one point. Another necessary condition is an ability to travel along a 10 meters long route fragment without a collision with any obstacle. The starting procedure will be tested (the automatic start) as well as the functionality of the emergency stop button. Usage of liquids, corrosive or pyrotechnic material as well as live beings is strictly prohibited. Every robot has to be accompanied by a team member, older than 18 years, who is fully responsible for the behavior of the robot.

11) Technical Documentation: Every team has to provide basic technical documentation about their robot (for presentations, general public and journalists). Three winning teams will be asked for a more detailed description for a website presentation and to make the entry of novices in the following years easier.

III. Organization

Robotour is organized as a three-day event (Friday to Sunday). Friday is dedicated to the testing, clarification of rule details and homologation. During the homologation, we want to make sure that robots are not dangerous, have a functional

emergency stop button and are able to gain at least one point in the contest. Saturday is the contest day. Finally, there is a workshop on Sunday. It is after the contest, so the competitors have a fresh experience with their robots and algorithms. They are also not stressed any more and thus this is a good moment for sharing knowledge.

We started to enforce this three-day template after the first competition in 2006. That competition ended on Saturday and most teams left without letting us and other teams know what has worked and what has not. What was even more important was that teams left exhausted from the programming marathon and one team had a car accident on the way home. Since the following year, the workshop is mandatory.

The Robotour contest is relatively self-supporting and the expenses are minimal. There is no special playground – a public park is used instead. There is no need for renting a hall because the event takes place outside. To be precise, some room is necessary as a base for the teams especially in bad weather conditions. It is recommended to have a partner who provides this place, like Planetarium Praha in the first park Stromovka did. A good idea is also a combination with an exhibition of robots and a related technology parallel to the contest.

There is no registration fee, but the teams have to take care of catering and pay an accommodation.[1] Small items remain on the bill: leaflets printing, diplomas, cup for the winners, and a Saturday night dinner. The dinner is usually sponsored and the goal is to unite the teams and give them a chance to relax a little bit after the contest. Note, that prices are rather symbolic, which lowers expenses on one side and also reduces a potential rivalry between the teams.

A. *Duties over the Year*

The first task of the organizers is a precise specification of rules for the next contest. They are presented on the robotika.cz website in Czech and English languages. The core remains the same (autonomously navigate in a park) and the changes are usually a consequence of a discussion at the workshop and experience gained.

The second task is to ensure an affordable accommodation for a relatively large group of people (50 people needed accommodation in 2009). An agreement with a university dormitory serves well. The reservation must be performed usually a month in advance and that defines a clear deadline for the registration of the teams.

Finally, it is necessary to find an interesting park, manage permission for the contest day and find building with large enough room(s) for team base with many electric outlets.

B. *Experience of the Organizers*

There were couple lectures we have learnt over the last four years organizing Robotour (and previously several years of organizing Czech Cup of Eurobot). The basic scenario was already mentioned and serves good and is worth a recommendation. What has changed over the years are two major trends: the number of teams is increasing and the task is getting more difficult. In the first case, we tried to find some optimal timetable of the rounds and we are still not satisfied. What suits the teams does not suit a general audience and vice versa. This year, we will start all the robots from one place simultaneously, which could be attractive for spectators, but may cause problems to many teams.

[1]Accommodation is usually partially or fully sponsored.



Fig. 2. Robot of the R-team (left) leading the allied robot of RobSys (right).

The task complexity is another issue. Beginners have a harder position to enter the contest every year. For 2010, we discussed a new category (WagonOpen), but we will probably cancel it. The reason is a new, for the beginners with outdoor robots highly recommended contest “Robotem rovně” (Robot, go straight!) in Písek. In Písek, the task is to navigate as far as possible on a 3 meters wide and 300 meters long park road. This is exactly the first stage which is necessary to enter the Robotour contest.

IV. Reflections

A. *Questions*

To reflect an influence the competition has had on its participants, we have asked some of the past successful teams few questions:

1) What did you expect from the competition?
2) What did the competition give you?
3) What were you disappointed with?

B. *Asked Teams*

The following teams were asked:

- **Propeler-team**, Opava: A group of high school students, who placed 2nd in 2006.
- **LEE**, Prague: Researchers and students from Czech Technical University in Prague. Winners of the year 2008 and the year 2009.
- **R-team**, Rychnov nad Kněžnou: A team of a high school teacher. Since 2010, he organizes *RobotOrienteering* in Rychnov nad Kněžnou. R-team finished 2nd in 2008 (in a coalition with the RobSys team, see Figure 2).
- **Roboauto**, Brno: A self-funded group of researchers, which ranked 2nd in 2009.

- **Radioklub Písek**, Písek: Hobbyists and professionals, who also teach electronics in a club. Radioklub Písek got a 3rd place in 2009. Since 2009, the club organizes *Robotem rovně* (mentioned in Section III).

C. Answers

1) What did you expect from the competition?:

- Propeler-team:
  - The competition motivated us to build our first robot.
  - Having almost no restriction on the dimensions of the robot allowed for a simple construction – We could use a notebook, get an image from a camera and use a bought chip to control the motor and the servo (we did not understand microchips and servos at that time).
- LEE:
  - We wanted to see a comparison of several approaches to the mobile robotics.
  - The competition gives us an opportunity to have our solution judged in an unbiased fashion.
- R-team:
  - After Istrobot and Eurobot, I wanted to try something new.
- Roboauto:
  - The competition served as a motivation to finish a functional version of algorithms and of the robot.
  - We wanted to present our results to a general public.
  - We expected to meet with a like-minded community.
- Radioklub Písek:
  - After seeing the robots in 2007, we believed we could do better.

2) What did the competition give you?:

- Propeler-team:
  - We met people in the same domain of interest, saw their approach and other technology.
  - Every year, we have a motivation to catch up with our first result.
- LEE:
  - We have seen, how a relatively simple solution (by R-team) can solve a given task.
  - We realized that the increasing accuracy of hardware and sensors can have a huge impact on the accuracy of simultaneous localization and mapping.
  - We have been shown, how important it is to deal with the technical details and with the reliability of the robots.
- R-team:
  - I have learned that even the hardware is not fully reliable. Indoor robots do not suffer from such problems.
  - I realized how difficult the task is, even though I have expected some difficulties even beforehand.
- Roboauto:
  - It has fulfilled our expectation.
  - The competition gave us a practical experience with deploying a robot.
  - We have got an inspiration for further improvements of the hardware and algorithms.
  - We feel in touch with people with similar interests.
- Radioklub Písek:
  - We realized the competition is not as simple as it seemed for the first look and few others.

3) What were you disappointed with?:

- Propeler-team:
  - We are not really disappointed: When the robot works, everything is fine.
  - Answering the question "What does the robot do?" is difficult, when the task difficulty is not obvious.
- LEE:
  - Although there is a lot written by the competitors at robotika.cz, every year someone new comes and repeats previous mistakes.
- R-team:
  - In my opinion, the competition has become too difficult. Only one or two best teams can fully cope with the rules.
- Roboauto:
  - Problems with a reliability and with a robustness are bigger than we have expected.
  - We are disappointed with only a small media attention.
  - We hoped to get an attention of potential sponsors or future team members, which has not happened so far.
- Radioklub Písek:
  - We are sad that the cooperation of multiple robots is not encouraged any more. We have learned several interesting things doing that. On the other hand, as the competition evolves, it does not suffice to copy a solution from the previous year.

V. Summary

We have introduced Robotour – robotika.cz outdoor delivery challenge, its rules and their evolution over the time. We share experience gained while organizing several years of the competition and show several patterns worth following. The competition has been successful in attracting people to robotics and giving them an opportunity to learn. The contestants enjoy a chance to meet others, exchange ideas and compare their approaches in an independent manner. As the competitors note, while seemingly simple, the competition became difficult to participate in. This in turn led to a creation of two new robotic competitions in Czech Republic, which differ in the level of difficulty. Currently, there exists an evolutionary path for a person interested in robotics through these outdoor competitions up to Robotour and possibly even further.

REFERENCES

[1] Eurobot, “Contest for amateur robotics,” http://eurobot.org/, 1997.
[2] DARPA, “Grand Challenge,” http://www.darpa.mil/grandchallenge/, 2004.
[3] David Obdržálek, “Eurobot 2010,” *Robot Revue*, May 2010.
[4] Robot Challenge, “Indoor robotic competitions,” http://robotchallenge.org, 2010.
[5] Istrobot, “Contest for amateur robotics,” http://robotika.sk/, 2010.
[6] Field Robot Event, “Agricultural robotic competition,” http://fieldrobotevent.de, 2010.
[7] ELROB, “1st European Land-Robot Trial,” http://www.elrob2006.org/, 2006.
[8] Real World Robot Challenge, “Outdoor robotic challenge,” http://www.ntf.or.jp/challenge/, 2009.
[9] Robotem Rovně, “Outdoor robotic challenge,” http://www.kufr.cz/view.php?nazevclanku=robotem-rovne-2010&cisloclanku=2010020002, 2010.
[10] Open Street Map, “Public mapping activity,” http://www.openstreetmap.org, 2010.

Robotour 2010 - pravidla

Martin Dlouhý a Zbyněk Winkler
http://robotika.cz

***Abstrakt* – Pátý ročník soutěže autonomních outdoor robotů se bude konat 18. září 2010 na Slovensku v jednom ze tří předvybraných parků v Bratislavě. Na rozdíl od předešlých ročníků roboti dostanou pouze mapu a souřadnice cíle. Roboti nebudou přesně znát svoji startovní polohu a interakce s operátorem se omezí na zadání cíle. Robot úspěšně řešící tuto úlohu by měl být schopen demonstrovat své schopnosti v jakémkoli parku s odpovídající mapou.**

I. Cíl

Cílem soutěže Robotour je podpořit vývoj robotů schopných dopravit vás třeba ráno do práce nebo vám přivézt stavební materiál, co jste si právě objednali v online obchodě.

Cesta k takovému cíli nebude ani jednoduchá ani krátká, ale věříme, že výsledek bude stát za to.

II. Mapy

V předchozích ročnících bylo hojně využíváno mapování soutěžního prostřední před vlastní soutěží. Tyto mapy sahaly od jednoduchých záznamů ujeté vzdálenosti (odometrie) a směru (kompas) až po netriviální analýzu obrazu z kamery a zapamatování si význačných bodů.

Takový způsob navigace ale předurčoval robotům pohyb pouze tam, kde jeho tvůrce strávil často i několik dnů relativně namáhavým a vyčerpávajícím vytvářením velmi specifických map. Je poměrně zřejmé, že vytvořit tímto způsobem mapu pro robota na cestu například z Písku do Opavy, nebude práce zrovna na jedno odpoledne.

Na druhou stranu ale existují dostupné mapy, na jejichž tvorbě se podílí mnoho lidí a díky tomu mají stále lepší pokrytí. To je možné jen proto, že se všichni shodli na tom, jak má taková mapa vypadat. Pokud má být malá skupina lidí někdy schopná postavit robota schopného pohybu v „našem světě”, je třeba aby tento robot využíval „naše mapy” — to jest mapy, které je schopen vytvořit i někdo jiný než autor robota. A to jsme se rozhodli v tomto ročníku podpořit…

III. Motivace pro rok 2010

Pátý ročník by měl být dalším krokem na cestě k chytřejším a autonomnějším robotům. Na rozdíl od předešlých ročníků roboti dostanou pouze mapu a souřadnice cíle. Roboti nebudou přesně znát svoji startovní polohu a interakce s operátorem se omezí na zadání cíle. Robot úspěšně řešící tuto úlohu by měl být schopen demonstrovat své schopnosti v jakémkoli parku s odpovídající mapou.

Stejně jako v minulých ročnících jsou podporováni robustnější roboti schopní převážet náklad. Pro zvýšení divácké atraktivity bude start robotů hromadný. Dále bude zavedena samostatná kategorie WagonOpen pro podpoření začínajících týmů.

IV. Pravidla

Úkol Úkolem robotů je v zadaném časovém limitu 30min dopravit náklad do cíle vzdáleného až 1km. Roboti musí být plně samostatní, nesjíždět z cesty a správně se rozhodovat na křižovatkách podle zadané mapy. Místo startu i místo cíle bude pro všechny roboty stejné.

Mapa Vektorová mapa chodníků v parku bude vycházet z vektorizace ortofotomapy a týmy si ji mohou dále zpřesňovat. Základní idea je převzata z Open Street Map. Ve výsledku budou moci roboti použít pouze tuto sdílenou mapu — jakékoli jiné mapy jsou zakázány!

Roboti Tým může letos nasadit pouze jednoho robota. Každý robot musí mít EMERGENCY STOP tlačítko, které robota zastaví. Tlačítko musí být snadno přístupné, červené a musí být pevnou součástí robota (aka Big Red Switch), aby se v případě hrozícího nebezpečí dalo snadno stisknout. S robotem musí být možnost snadno manipulovat: libovolné dvě dospělé osoby ho mohou odnést několik desítek metrů. Je zároveň definovaná minimální velikost — na robotovi musí být během celé soutěže umístěn 5l pivní soudek (alespoň prázdný).

Vyjetí z cesty Je dovoleno se pohybovat pouze po parkových cestičkách. Pokud robot sjede z cesty, aktuální pokus pro něj končí. O jeho včasné odklizení se musí postarat soutěžící tým.

Překážky Na trase se mohou nacházet překážky. Kromě překážek přirozených (lavičky atp.) mohou být na trať umísťovány i překážky umělé. Za typickou (umělou) překážku se považuje například figurant, papírová krabice od banánů či jiný robot. Roboti nesmí vejít v kontakt s překážkou. Kontakt s překážkou znamená ukončení pokusu. Robot může před překážkou zastavit a vizuálně či zvukově upozornit, že překážka byla detekována. Fakt, že překážka už není přítomná musí roboti detekovat sami.

Interakce robotů Situace, kdy rychlejší robot dojede robota pomalejšího, nebude nijak zvláštně řešena. Rychlejší robot se může k pomalejšímu zachovat například jako k překážce — tj. objet ho nebo počkat, až odjede sám. Obecně budou respektována pravidla silničního provozu: přednost zprava, vyhýbání se vpravo, předjíždění vlevo.

Start Všichni roboti budou startovat současně na jedné z parkových cest (všichni stejné). Minimální šířka cesty, na které se bude startovat, je 3 metry. Startovní oblast pro jeden tým bude mít velikost cca 1.5x1.5 metru. Startovní oblasti budou umístěny těsně za sebou při jedné straně cesty. V rámci startovní oblasti může tým umístit robota podle vlastního uvážení. Pořadí robotů na startu bude dané výsledky v předešlém kole (lepší robot bude blíže k cíli). V prvním kole bude pozice určena pořadím úspěšné homologace. Roboti startují automaticky pomocí vnitřních časovačů. Minutu před startem už nesmí docházet k žádné interakci s robotem.

Bodování Vyhrává tým, jehož robot bude trasu nejlépe zdolávat. Rozhodující je vzdušná vzdálenost poslední pozice (vyjetí z cesty, kolize či vypršení časového limitu) k cíli. Tým získává 1 bod (tzv. „bod za cestu") za každý metr směrem k cíli = vzdálenost(start,cíl)-vzdálenost(konečná pozice,cíl). Za vezení nákladu získává tým dvojnásobek („body za náklad"). Každý robot může vézt jeden „náklad". Nákladem se rozumí 5l pivní soudek (plný). V daném kole tedy robot může získat nejvýše počet bodů roven dvojnásobku vzdušné vzdálenosti start-cíl. Pokud robot neopustí startovní oblast, získá 0 bodů.

Organizace Soutěž bude mít 4 kola. Pro každé kolo bude vybrán jiný start a cíl. Vybraný cíl bude oznámen 10 minut před startem kola. Rychlost v této soutěži nehraje roli (je omezena na 2.5m/s). Do celkového výsledku se sčítají body za všechna kola. Kolo začíná vždy v určený čas a končí po 30 minutách. Robot musí opustit startovní oblast nejpozději do 10 minut od startu. Pokud se robot mimo startovní oblast nebude 60 sekund pohybovat, bude aktuální pokus ukončen. Každý tým musí zajistit jednu osobu znalou pravidel, která bude během soutěžního dne patřit do týmu rozhodčích.

Homologace Tým se může zúčastnit soutěže, pokud ukáže, že je schopen získat alespoň jeden bod. Nutnou podmínkou je projet desetimetrový úsek bez kontaktu s překážkou. Testována bude startovací procedura (automatický start) a funkčnost EMERGENCY STOP tlačítka. Použití tekutin, žíravin, pyrotechnických materiálů a živých bytostí je zakázáno. Každý robot bude během jízd doprovázen jednou osobou z týmu, starší 18 let, která je za jeho chování zcela zodpovědná.

Technická dokumentace Každý tým dodá ke svému robotu (robotům) základní technickou dokumentaci (pro prezentace, veřejnost a novináře). Vítězné týmy (1. až 3. místo) pak budou požádány o podrobnější dokumentaci pro webovou prezentaci a tedy zjednodušení zapojení nováčků do soutěže v následujícím roce.

Kategorie VagónkyOpen roboti BODY a TAIL z minulých ročníků se mohou zůčastnit nové kategorie „WagonOpen". Její hodnocení bude nezávislé na hlavní soutěži a hlavní motivací je umožnit zapojení nováčků. Tato soutěž bude mít 3 kola a cílem bude se udržet za vedoucím robotem. Každý robot (vagónek) bude mít rampu na umístění majáčků pro napojení více robotů v kolonu. Detaily budou upřesněny v FAQ1. Omezení rozměrů a bodování za inteligenci a za náklad bude převzaté z hlavní soutěže tak, aby hardware robota mohl být využit v dalším ročníku v hlavní kategorii.

V. Odlišnosti oproti minulému ročníku

- Hromadný start všech robotů z jednoho, předem neznámého, místa.
- Je zakázáno mapovat si soutěžní prostor před vlastní soutěží. Místo toho mohou týmy využívat mapu, na jejíž tvorbě se mohou aktivně podílet.
- Kolona robotů HEAD, BODY a TAIL již není nijak podporována.
- Každý robot musí být schopen uvést 5l sud piva (alespoň prázdný).
- Přesná poloha cíle bude známá 10min před startem.
- Automatický start pomocí časovače.
- Místo PAUSE tlačítka bude pouze vyžadováno EMERGENCY STOP tlačítko, které může kdokoliv použít v případě nebezpečné situace — například poruše robota. Jeho stisk znamená ukončení pokusu.
- Za Big Red Switch není možné považovat klávesnici (ano, je pozoruhodné, že i po těch letech to pořád některým týmům není jasné). Prostě dejte na svého robota snadno dostupný červený vypínač. Bez odpovídajícího BRS nebude robot do soutěže připuštěn.
- Není omezení na velikost překážky. Mohou tedy nastat situace, kdy bude celá cesta blokovaná a překážku není možné objet.
- Nebude k dispozici referenční maják.
- Nebude kategorie „volná jízda".
- Troubit na překážku je i nadále možné, ale efekt to bude mít pouze v případě, kdy je překážkou například zvědavá babička. Naopak lavička (přes zvukovou podobnost obou zareagovat cizí robot nebo krabice od banánů.

Robotour 2010 - rules

Martin Dlouhý a Zbyněk Winkler
http://robotika.cz

***Abstract* – Fifth year of this autonomous outdoor robot contest will be held on 18th September 2010. It will take place in Slovakia in one of the preselected parks in Bratislava. In contrast to previous years robots will get only map and coordinates of destination. Note, that robots will not know their exact starting position and interaction with operator will be reduced to entering destination. Robot successfully solving this task should be able to demonstrate its navigation in any park with corresponding map.**

I. Goal

The objective of the Robotour contest is to encourage development of robots capable of transporting you to work in the morning or to deliver the building material you have just purchased in an online shop.

The path to this goal is neither easy nor short, but we believe that the outcome is worth it

II. Maps

In the previous years there was an abundant mapping of the environment shortly before the contest itself. These maps spread from simple records of the traveled distance (odometry) and direction (compass) to a non-trivial image analysis saving notable points along the way. This technique of navigation restricts the robots only to places where their creator spent often several days of relatively tiring and exhausting work to build a very specific map. It is relatively clear, that to create a map for a robot to travel from Písek to Opava won't be a one afternoon job with this technique.

But there is a map available to the general public, where many people cooperate on its creation and this way the coverage is getting better every day. This is possible only because everybody agreed on how the map should look like. If ever a small group of people should create robot able to move in "our world" it is necessary that this robot uses "our maps" — this means to use maps created by somebody else than the robot's author. This is something we would like to endorse this year...

III. Motivation for year 2010

The fifth year of this contest should be a next step towards smarter and more autonomous robots. In contrast to the previous years robots get only a map and coordinates of the destination. The robots should be able to navigate around the park even if they have never been there before. The map and the destination should be the only information the robots get before the start. Robot successfully solving this task should be able to demonstrate its ability with a corresponding map in any park.

Robust robots able to carry a payload are preferred as in previous years. The start will be concurrent from one place to increase spectators attractiveness. There will be also new category WagonOpen to support novice teams.

IV. Rules

Task The task for the robots is to deliver payload in given 30 minutes time limit to destination as far as 1km. Robots must be fully autonomous, not leave the road and choose correct path on junctions. The place of start and destination will be the same for all robots.

Map Vector map of footpath in park will be based on vectorization of ortophotomap and teams could further improve it. The basic idea is taken from Open Street Map. At the end robot could use only this shared map — all other maps are prohibited!

Robots Team can deploy only one robot this year. Every robot must have EMERGENCY STOP button, which stops its motion. The button must be easy accessible, red and must be fixed part of the robot (Big Red Switch), so it could be used in case of danger. The team must show that it is easy to manipulate with the robot — two people must be able to carry it several tens of meters. There is also minimal size — robot has to carry 5l beer barrel (at least an empty one).

Leaving the road The robots are expected to stay "on the road" which means to stay on the paved passage ways. If any robot leaves the road, the trial ends. The team has to take care of their robot and remove it immediately.

Obstacles There could be obstacles on the road. Besides natural obstacles like benches there could be also artificial obstacles. A typical (artificial) obstacle is for example a figurant, a banana paper box or other robot. Robots may not touch an obstacle. Contact with an obstacle means end of the trial. The robot may stop in front of the obstacle and visually or acoustically give notice. Note, that the robot has to detect, that the obstacle is no longer present.

Robots Interaction In the cases where a faster robot catches up a slower one won't be explicitly handled. The faster robot can handle the slower robot as an obstacle, i.e. avoid it or wait until the „obstacle" disappears. In general the road rules will be respected: right of way, avoidance to the right, passing on the left.

Start All robots will start simultaneously from the same park road. A minimum width this road is 3 meters. Start area for each team will have approx. 1.5x1.5 meters. Start areas will follow one after another on one side of the road. In the start area each team can place its robot as they see fit. The order of robots on start is given by the results the in previous round (a better robot will be closer to the destination). The order in the first round will be given by the order of successful homologation. Robots start automatically via their internal timers. A minute before the start is allowed no interaction with the robot.

Score The team whose robot manage best to proceed along the route wins. Critical is the aerial distance of the last robot position (leaving the road, a collision or a timeout) to destination. For every meter towards the destination team gets one point. If the team carries payload it is awarded twice ("points for the payload"). Each robot can carry only one "payload". Payload is 5liter beer barrel (full). In every round a robot can get at most twice the aerial distance of the start and the destination.

Organization The contest will consist of 4 trials for each team. The start and destination will be different for every trial. The selected destination will be announced to all teams 10 minutes before the start. The speed of the robots is not important (actually it is limited to 2.5m/s). All points gained during all trials will be summed together. The trial starts at a specified time and ends after 30 minutes. The robot must leave the start area within 10 minutes of the start. If the robot does not move for a 60 second its trial ends. Each team has to arrange for one person familiar with the rules that will be part of the referee team during the competition.

Homologation A team can participate in the contest if it is able to score at least one point. Necessary condition is the ability to travel 10 meters long route fragment without collision with an obstacle. The start procedure will be tested (automatic start) as well as the functionality of the EMERGENCY STOP. Usage of liquids, corrosive, pyrotechnic material and live beings is strictly prohibited. Every robot has to be accompanied by a team member, older 18 years, who is fully responsible for the robot behavior.

Technical documentation Every team has to provide basic technical documentation about their robot (for presentations, general public and journalists). Three winning teams will be asked for more detail description for website presentation and easier entry of novices in the next year.

Category WagonOpen Robots BODY a TAIL from previous years can participate in a new category „WagonOpen". Scoring of this category will be independent of the main contest and the primary motivation is to give a chance to novice teams. This contest will have 3 rounds and the goal is to follow a leading robot. Every robot (wagon) will have a ramp for placing beacons to link together several robot in a convoy. Details will be specified in FAQ1. Robot restrictions and score for intelligence and payload will be adopted from main contest, so that the robot hardware could be used for the next year participation in the main category.

V. Basic differences against the previous year

- Simultaneous start of all robot from one, beforehand unknown, place.
- It is prohibited to map contest area before contest itself. Teams can instead use shared map on which creation they can actively participate.
- Convoy of robots HEAD, BODY a TAIL is not supported.
- Every robot must be able to carry 5l barrel of beer (at least empty).
- Exact position of destination will be known 10min before start.
- Automatic start via timer.
- Instead of PAUSE button only EMERGENCY STOP button is required. It could be used in any dangerous situation — for example in case of robot failure. Pressing it means end of trial.
- For the Big Red Switch is not possible to use a keyboard (yes, it is remarkable, that still after several years some teams do not get it). Just attach to your robot easily accessible red switch. Without this BRS robot won't be accepted to the contest.
- There is no restriction of an obstacle size. There could be even cases, when the whole path is blocked and it is impossible to avoid it.
- There will be no extra beacon available.
- There will be no category „free style".
- It is still possible to honk on an obstacle, but it will have effect only in cases of curious grandma. On the other hand bench won't notice honking. The same holds for other robots or banana paper boxes.
-

Robotour 2010 – Team List

BestBase (Bratislava)
- Daniel Žilinec
- Róbert Najvirt

Brmlab (Prague)
- Michal Tuláček
- Václav Hula

CGS Robotics (Italy)
- Matteo Unetti
- Nicola Giordani
- Torquato Cecchini

Eduro (Prague)
- Tomáš Roubíček
- Jiří Iša
- Jan Roubíček

Istrobotics (Bratislava)
- Pavol Boško
- Peter Boško

Odysseus (Prague)
- Jaroslav Halgašík
- Lenka Mudrová
- Matouš Pokorný
- Petra Kaplanová

Propeler (Opava)
- Tomáš Kotula
- Martin Kotula
- Eva Kotulová

Roboauto (Brno)
- Jan Najvarek
- Tomáš Ondráček
- Pavel Brzobohatý
- Vojtěch Robotka

Roboauto Quido (Brno)
- David Herman
- Jirka Zbirovský

Sirael (Praha)
- Kamil Řezáč
- Jaroslav Sládek

Robozor (České Budějovice)
- Martin Kákona
- Jakub Kákona
- Martin Povišer
- Lukáš Čížek
- Josef Szylar
- Roman Dvořák
- Kryštof Celba

Radioklub Písek
- Martin Černý
- Pavel Hubka
- Karel Kozlík
- Milan Říha
- Antonín Seiner
- Blanka Seinerová
- Martin Stejskal

Short Circuits (Praha)
- Pavel Jiroutek
- Dan Polák
- Lukáš Polák

Smelý Zajko (Bratislava)
- Pavel Petrovič
- Miroslav Nadhajský

Tatran Team (Trenčín)
- Michal Kukučka
- Juraj Ečery
- Marek Šutliak

URPI Team (Bratislava)
- Marian Kľúčik
- Michal Bachraty

Organizers
- Martin Dlouhý
- Zbyněk Winkler
- David Obdržálek
- Ondřej Luks
- František Duchoň
- Richard Balogh

Robotour 2010 – results

Order	Team	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Full?	Total
1.	**Eduro Team**	100	0	73	49	yes	444
2.	**Roboauto Quido**	84	0	53	16	no	153
3.-4. (*)	**Tatran Team Trenčín**	28	0	17	23	yes	136
3.-4. (*)	**Radioklub Písek**	0	0	1	65	yes	132
5.	**Roboauto**	11	11	1	34	yes	114
6.	**Short Circuits Praha**	17	2	43	9	no	71
7.	**Robozor**	1	0	0	34	yes	70
8.	**CGS Robotics**	0	2	27	0	yes	58
9.	**Propeler**	20	2	5	19	no	46
10.	**BestBase**	5	2	3	2	yes	24
11.	**Brmlab**	9	0	0	9	no	18
12.	**Odysseus**	0	2	4	11	no	17
13.	**Sirael**	0	0	2	0	no	2
14.-15.	**Istrobotics**	0	0	0	0	no	0
14.-15.	**Smelý Zajko**	0	0	0	0	yes	0

(*) Tatran Team Trenčín and Radioklub Písek delivered full tanks, and the total difference was only 2 meters (under the measurements resolution). So we decided to join these two places.

Robotour Solution as a Learned Behavior Based on Artificial Neural Networks

Miroslav Nadhajský and Pavel Petrovič
Department of Applied Informatics, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University,
Mlynská dolina, 842 48 Bratislava, Slovakia, miroslav.nadhajsky@st.fmph.uniba.sk, ppetrovic@acm.org,

Abstract—**Our contribution describes a mobile robot platform that has been built for the purpose of the contest Robotour – robotika.cz outdoor delivery challenge. The robot is a standard differential-drive robot with a good quality consumer market digital video camera with a lightweight, but high-performance laptop computer used as the main control board. Supplementary board is used to control motors and sensors of the robot. The robot utilizes a behavior-based architecture and its vision module that is responsible for track-following is utilizing an artificial neural network that was trained on a set of images. This is a novel solution that has not been used in Robotour contest previously, and our early experiments demonstrate promising results.**

Keywords – robotour, navigation, artificial neural networks, learning robots

I. Introduction

Applications of robotics technology in both production and personal use are becoming possible with the development of new materials, motors, sensors and vision, ever decreasing cost of computing and memory capacity, and development of new algorithms and control strategies. Robots must be able to operate in dynamic and unpredictable environments. Therefore, one of the most important challenges to be solved reliably is robot navigation – in both indoor and outdoor environments. The robots must be able to localize themselves on a supplied map, create their own map representations of the explored environment, and they must be able to navigate their environments safely, without colliding with obstacles, or failing to follow the paths, roads, trails, and tracks. The real improvements in the technology typically occur when there is a large motivational pressure to produce a working solution. This might either be a goal to produce a final product, or alternately, with somewhat more relaxed requirements and settings, which are suitable for experimentation, and research, when the goal is to develop a robot to participate in a robotics contest.

Robotour – robotika.cz outdoor delivery challenge, organized by the Czech association robotika.cz, is an annual meeting of teams building and/or programming outdoor robots that navigate in a city park filled with trails, trees, grass, benches, statues, water ponds, bridges, and people. The task changes every year, but the main challenges are 1) be able to localize and navigate on a map supplied by the organizers, and 2) be able to follow the trails and paths without colliding with the obstacles or leaving the path without reaching the goal. See [1] for the exact rules of this year's contest.

Various solutions for the challenge were developed, however, in most cases, they did not take advantage of advanced artificial intelligence algorithms. In particular, only few different vision algorithms were developed until today, several teams shared the successful solution of [2], and many solutions rely on the use of odometry, compass, and GPS. We would like to address this area, and prepare a solution for the contest in 2010 or 2011 that will utilize AI algorithms. The second author has participated in the competition team several times in the past, and collected some experience and motivation for a new attempt. In this article, we describe the principles our solution is based on and is currently being built. In the following sections, we describe the mechanics and the hardware, robot overall architecture, the software components, and the AI methods that we aim to use. Finally we summarize the experience with building and programming the robot up to date.

II. Mechanics

The robot is a simple robot with differential-drive kinematics with one supporting free-rolling caster wheel. The length of the sides of its square base is 45 cm; the air-inflated wheels of a diameter 15.3 cm are mounted on the outside of the base, in the front of the robot. The total weight is about 6 kg without any load. The robot provides a storage space of ca. 20 x 20 x 45 cm to carry a heavy load (approx. 5 kg), which can be placed close to the center of rotation, above the propelled wheels, so that it does not have a negative impact on maneuverability of the robot. The main control unit is a portable computer, mounted in a flat plastic frame with a foam to compensate the shocks. The lead acid 12V 9Ah rechargeable battery, being the heaviest component, is stored under the base, between the wheels, keeping the centre of gravity low. Color camera with a true optical image stabilizer and CCD image sensor is mounted using anti-shock foam on a U-shape construction frame built of aluminum profiles, together with GPS and IMU sensor, see Fig.1. The camera is inclined 10° downwards. The IMU sensor must be mounted far from any sources of electric and magnetic fields, such as motors and wires. Placing GPS high compensates also for obstacles in the surrounding terrain, which may hinder the GPS satellites signal. The robot is built from raw materials, except of the motors, wheels and consoles that hold them, which are all part

of a set from Parallax. The aluminium framework allows mounting a rain shield for the computer and the camera when necessary.

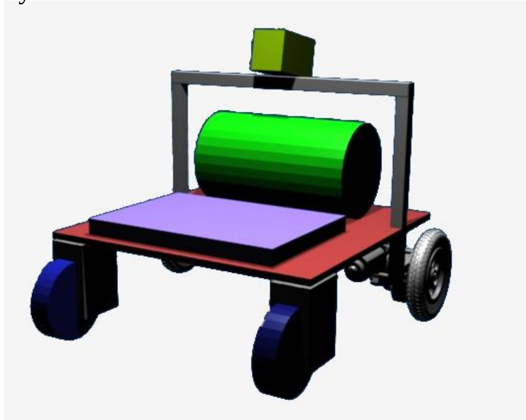


Figure 1. 3D Model of the robot showing main parts. In real implementation, we have mounted only one caster wheel as it proved to be sufficient, and allowed more accurate control.

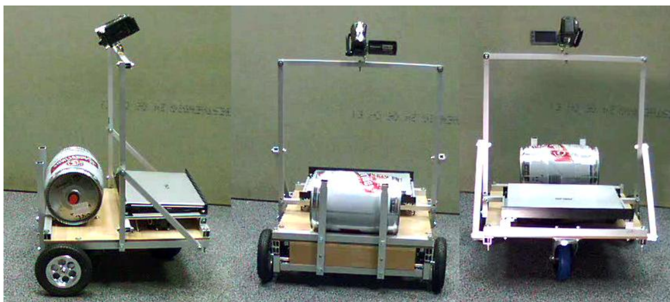


Figure 2. The resulting constructed robot from the side, front, and back. The control electronics is installed under the PC. The robot has already been tested in outdoor settings and has traveled a distance of several km.

III. HARDWARE ARCHITECTURE

The robot is propelled by two 12V DC motors with built-in transmission, rotating at up to 150 rpm and consuming 1.5A at no load. The encoders with 36 ticks per rotation are used for speed and position feedback and are equipped with on-board microcontrollers that are directly connected to the motor drivers HB25, supplying them with the proper PWM signal to keep the requested speed. In this way, the main microcontroller board, which is the SBot control board, designed in our group originally for SBot mobile robot, is freed from the low-level motor control, and dedicates this task to both of the encoders that have an implementation of a standard P (proportional) controller and are connected using the same 1-wire serial bus. Unfortunately, we found that the original firmware for the encoders supplied by Parallax did not satisfy our needs for several reasons. Most importantly, the encoders were not designed for dynamic change of speed, but only for simple positional commands that accelerate from zero speed to a fixed predefined speed, and then decelerate after traveling the required distance. They do not allow to change the speed in the middle of such positional command. However, movements, where the speed and rotation is changed arbitrarily at any time, are required in the Robotour task, where the robot has to dynamically respond to the visual feedback when it has to align its movement with the shape of the path. Fortunately, Parallax makes the source-code for the encoders firmware available, and thus we could modify it to suit our application and support immediate smooth changes of the instant speed.

The obstacles are detected using the standard SRF-08 and Maxbotix LV EZ1 ultrasonic distance sensors that are connected to the main control board.

Outdoor robots are typically equipped with a global positioning device, i.e. GPS, and it is the case for our robot too. Information from the GPS module that is connected directly to the main computer using USB port, however, is not so reliable due to atmospheric and other occlusions, and serves only as a guidance for map localization. It is confronted with visual input and complemented by the current heading obtained from compass sensor. The compass sensor is part of the complex 9 DOF IMU sensor that includes several axes of gyroscopes, accelerometers, and magnetometers, thus compensating for various robot inclinations when traveling uphill or downhill. This is important since the simple compass sensors provide incorrect information once the robot and thus also the sensor is tilted.

Finally, for the visual input, we chose to use a standard video camera Panasonic SDR-T50, due to a very good ratio of parameters/price. The video camera is built around a CCD sensor, which has the advantage over the CMOS image sensors of taking the image instantly. Cheap CMOS cameras therefore suffer from a serious vertical distortion when the camera is moving, since the different rows of the image are scanned at different times. In addition, the camera has a built-in true optical image stabilizer, which further compensates for distortions due to the movement. Unfortunately, we found this stabilizer to be insufficient, and thus we have supported it with an anti-shock foam placed between the camera and the platform where it is tightened using flexible textile tape. The camera renders its image either as 16:9 or 4:3 image, however, it sends a wider signal down to its video output jack connector, which is further connected to a USB frame grabber card and the main computer. The main computer is a 2-core powerful PC with a GPU that can be used for the intensive image processing computation. The computer and the Sbot control board are connected using a serial port or a virtual serial port over radio BlueTooth connection. In debugging and testing applications, the robot can be controlled using a wireless gamepad connected using a proprietary 2.4GHz radio link.

In general, the robot is designed in such a way that it can be used in many different applications. For instance, a stereo vision system or an arm with a gripper can be installed in the cargo hold area. Additional sensors can be easily mounted on the aluminum profiles or wooden base. Fig. 3 shows overall system architecture.

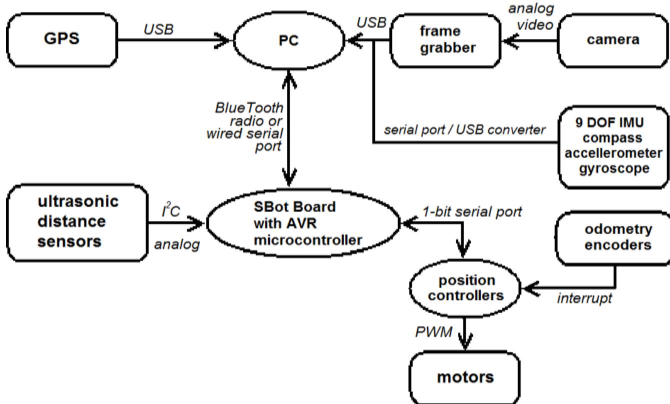


Figure 3. System hardware architecture.

IV. Software Controller Architecture

The software architecture is tailored for the Robotour contest. In this year's contest, the goal for the robot is to navigate to the target without knowing its starting location. It is only given the target coordinates and an official map of the park. It may not use other map information. The software controller is logically divided into five main components, see Fig.4.

The first component, planning, uses the map with the destination location and generates a path plan for the robot to follow. It tries to minimize the number and complexity of the crossings as these are the most critical places and candidates for navigational errors. The component outputs a sequence of locations that are to be visited by the robot. Whenever requested, the module can generate a new plan after a problematic place in the map has been reached.

The second component, localization using map, is responsible for the most accurate localization of the robot on the map. It is using the information from the compensated compass (IMU) for heading, from GPS for position estimation, and from the position encoders to estimate the distance traveled and turns made. All the information is integrated and with the help of the map and the path plan, the target distribution is determined using a probabilistic Monte-Carlo estimation. The output of the localization module is a probabilistic distribution over the expected heading in the very next correct movement, and the expected distance to the next crossing or target.

The third module, path recognition, is the most important one for the actual control of the motors, and has a priority over the localization module. It receives the image from the front camera and recognizes which parts of the image correspond to the path, and which of them correspond to other surfaces. The next section explains this procedure in more details. The output of this module is again a probabilistic distribution over the space of possible headings that can be projected to the input frame, where the headings leading to more “path” areas are more likely than those leading to less “path” area. Input from the odometry and gyroscopes helps this module to improve its estimation of the path using its previous estimations and the relative displacement of the robot.

The obstacle recognition module is responsible for detecting obstacles in the planned path of the robot and for stopping the robot in case of a possible collision early enough so that avoidance could be attempted by the coordination module. The robot is currently equipped with three ultrasonic distance sensors (front ahead, front left, front right), and thus the module reports on its output whether the path is blocked completely, or only partially, and also what is the size of the expected free buffer in front of the robot.

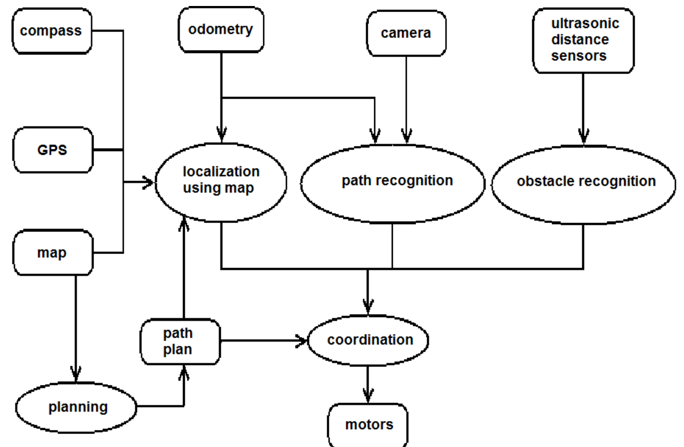


Figure 4. Overall controller architecture.

The most complex module is the coordination module. Its purpose is to take the prioritized outputs from the other three modules, and to determine the best possible angular and linear velocity for the next instant movement. When the confidence of the module is getting low, the robot slows down. If the confidence falls even lower, the robot stops, and starts rotating left or right, depending, which direction is expected to be more promising, until it finds a heading, where the module confidence is sufficiently high again. If such heading is not found, the robot attempts to return back in the reverse direction as it arrived to the problematic location, possibly moving in the reverse of the planned direction on the map. After returning back a short distance, it retries. The retries are repeated several times while gradually extending the back-up distance. If all attempts to pass the problematic location fail, the planning module is asked to generate a different path.

The controller is arranged in a behavior-based manner, individual behaviors are developed and tested independently before they are integrated in a common controller.

V. Path Recognition

Our goal was to use artificial neural networks in order to help the robot navigate and stay on the path. We obtained many images from a park with trails, and we have manually marked the regions in these images that correspond to the traversable path. This input was used to train the neural network (a standard multi-layer perceptron) to recognize the path. See figure 5 for an example of such manually classified image.

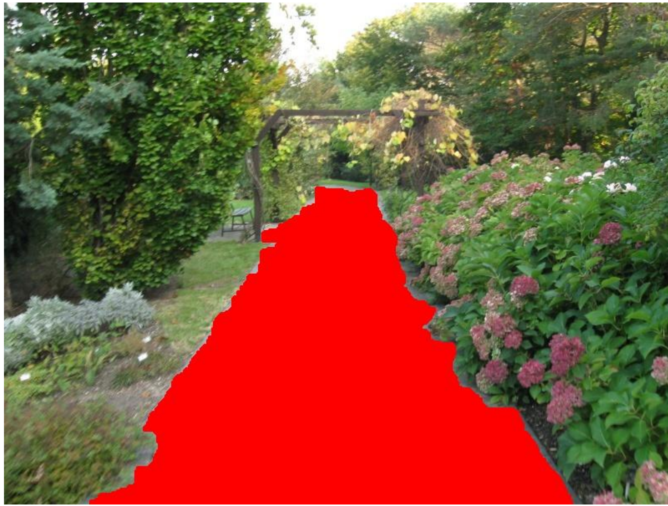


Figure 5. Manual preparation of training images.

Sending the whole image to the network as the input would obviously be infeasible. Instead, we first tried to scale the image to a lower resolution of 400x300 pixels, and divide it into 100 rectangular regions of equal sizes that covered the whole image. Each region formed an input to a neural network, and the whole region was about to be classified as "path" or "not path". However, the resulting resolution of the classified image was not satisfactory, even after a further reduction of the region size so that the image was divided into 2500 segments. Therefore, we decided to use a sliding region. For almost every pixel in the image, we define a corresponding region – it's larger neighborhood, which forms the input vector. The classification output produced by the network for each pixel in the image is then a real number from 0 to 1, estimating how much the network believes the pixel lies on the path. Two examples of images that were not used in the training phase are shown in the Fig.6.



Figure 6. Examples of path recognition.

We used the RPROP training algorithm for multilayer perceptron, in particular the implementation that is present in the OpenCV package. The training used tens to hundreds of manually classified images from various places in a park with various path surfaces, light and shadow conditions. Since this is still an ongoing work and only preliminary results are available, we restrain from a statistical analysis of the results at this moment, and refer the reader to the page dedicated to the project with detailed results and data [5].

Once the network is trained and produces the classifications for the image frame pixels, the path recognition module enters a second phase, when it tries to evaluate all possible travel directions (headings) with respect to the chances that the robot will stay on the path. For this purpose, the module analyzes a family of triangles of the same area with the base at the bottom of the frame and the third vertex placed in the middle of the image. For each such triangle, we compute an average path likelihood. The triangle for which the path is most likely, i.e. where most pixels lay on the path, is likely to be the correct new heading. However, the module outputs a full distribution over all possible headings so that the coordination module can take advantage of this information, for instance to determine different directions at a heading, or when trying to resolve ambiguous cases. Fig.7 depicts the analyzed family of triangles. Two example pictures are further analyzed in Fig. 8, where the bars show how "likely" it is that following in the various directions is a "good" idea in order for the robot not to leave the path.

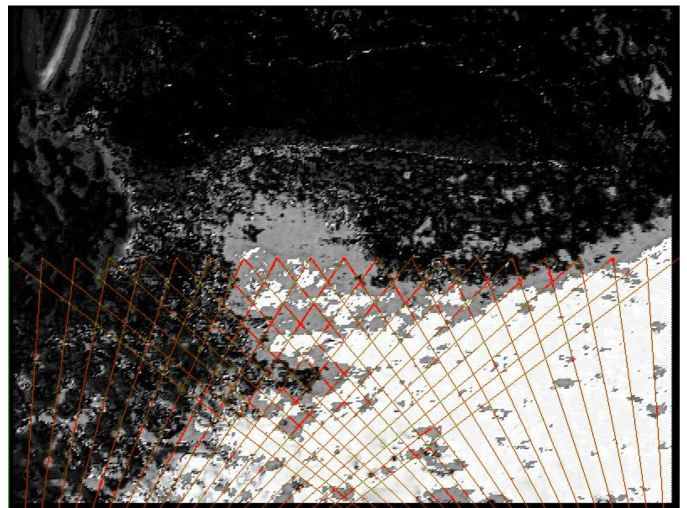


Figure 7. Triangles representing different turning projected to the image of recognized path.

VI. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

We have designed and implemented a robotic hardware and software platform to be used in the Robotour contest for outdoor robots navigating in park environment. The hardware platform is implemented in a general way and most components of the software platform can be reused in other applications, the robot can be extended with stereo vision or manipulator. We have designed, implemented and tested in this context a new method for path recognition, which is based on artificial neural network that is trained on a set of static images that are similar to the environment where the robot is to be operating. We are currently working on integrating all the components of our prototype so that it could perform in its first

Robotour contest this year. In the remaining 10 months of the project, we will analyze the results from our participation, and propose, implement, and verify improvements so that the robot can serve both as a competitive platform in the contest and as an educational tool in the course Algorithms for AI Robotics, which is provided at our department to students of Applied Informatics.

Acknowledgment

This work has been done with the support of the grant “Podpora kvality vzdelávania na vysokých školách“ from Nadacia Tatra banky.

References

[1] Robotour - robotika.cz outdoor delivery challenge, Rules, online: http://robotika.cz/competitions/robotour/cs last accessed: August 1st 2010.

[2] K. Košnar, T. Krajník, and L. Přeučil, “Visual Topological Mapping,” in European Robotics Symposium 2008, Heidelberg: Springer, 2008, pp. 333–342.

[3] G. Bradsky, A. Kaehler, Learnning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library, O'Reilly Media, Inc., 2008.

[4] D. Guštafík, SBot v2.0 – Educational Robot for Clubs and Classrooms, User manual to Sbot robot, 2008, online: http://webcvs.robotika.sk/cgi-bin/cvsweb/~checkout~/robotika/sbot/2.0/doc/dokumentacia_en.pdf

[5] M. Nadhajský, Robotour diploma project page, 2010, online: http://virtuallab.kar.elf.stuba.sk/~mnadhajsky/

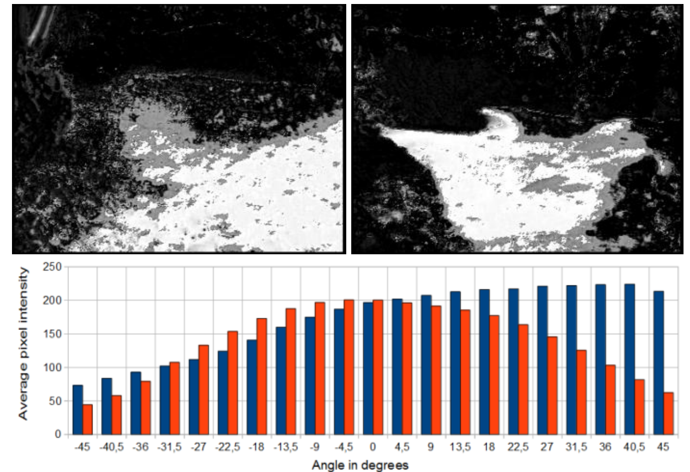


Figure 8. Two scenes after path recognition. The bars show the average pixel intensity of pixels inside of triangles for a range of different rotations for both of the resulting images (blue/dark for the left image, red/bright for the right image).

Eduro Team

Jiří Iša
Tomáš Roubíček
Jan Roubíček

***Abstract*—Eduro Team won Robotour – Robotika.cz Outdoor Delivery Challenge 2010. To make the life of future participants easier and to satisfy a curiosity of current participants, we describe our hardware, software and the whole approach in this article.**

I. Introduction

In Robotour – Robotika.cz Outdoor delivery Challenge [1], fully autonomous robots deliver objects (5l beer barrels in 2010) from a starting point to a specified destination. On their journey through a city park, the robots must not leave paved roads. Points are awarded for a distance traveled towards the destination point.

Before the competition, the robots are given a map (Open Street Map), which they can use for navigation. The robots need to perceive their environment (e.g. where the road is and where the obstacles are) to deal with the task successfully.

Our team (Eduro Team) won this competition in 2010. In this article, we explain our approach (Sec. II) and introduce the team members (Sec. III), who developed the hardware (Sec. IV) and the software (Sec. V), which we describe too.

II. Approach

Reliability beats smartness any time. The only better thing is reliability with smartness on top. Smartness with an added reliability does not exist.

Over the last years, we have seen over and over again, that reliable partial solutions outperform incomplete advanced solutions. Simply put:

> The robot which moves is better than the one which does not.

This is especially important for us, amateur roboticians with an extremely restricted time budget. Fig. 1 depicts two distinct paths we can take. In the beginning, we do not have any robot – we start in the lower left corner of the diagram with an extremely dumb and unreliable solution (none). We want to reach the upper right corner with a reliable smart solution. The attractive path seduces us to the interesting difficult problems first, suggesting that we can make it work in the end. Our team focuses on the other path. We keep combining reliable blocks and adding reliable improvements over the time. This path has two key advantages over the attractive one:

1) It works. If we run out of time at any moment, we have a working solution which can compete.
2) It is more fun. Because the robot moves from the very beginning, it provides a motivation to add improvements and see their immediate impact. This is much more rewarding than digging five tunnels from five directions and praying they meet in the end (and in time).

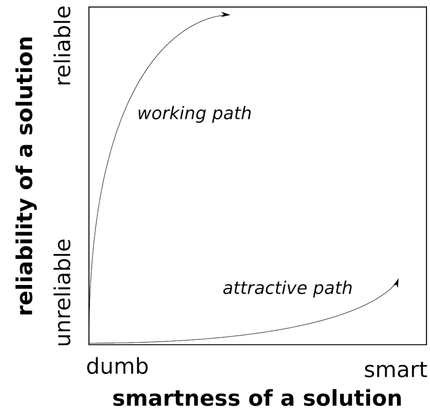


Fig. 1. There are two basic paths from an unreliable dumb solution (lower left) to a reliable smart solution (upper right): (i) The attractive path suggest focusing on the complex stuff first and making it work later. (ii) The working path advises to keep improving reliable solutions.

III. Team

Our team is a mixture of hardware and software experts, who have been involved in robotics for about a decade. Jan Roubíček designed the winning platform for Cleaning Contest 2002 Lausanne, and constructed several more successful platforms (Explorer, Eduro, Eduro Maxi, ...) for several more competitions (Eurobot, RobotChallenge, Field Robot Event, ...) later. Tomáš Roubíček focuses on electronics and low-level software (CANopen, firmware for sensors and actuators). Jiří Iša keeps an eye on artificial intelligence (computer vision, probabilistic reasoning, etc.). We also build on an extensive work by Martin Dlouhý. His long experience in robotic systems reflects itself in the framework he developed for Eduro and Eduro Maxi for RobotChallenge, Field Robot Event and few other robotic competitions in 2010. Sadly, he cannot be a team member for Robotour.

IV. Hardware

A. Platform

Eduro Maxi is a modular mid-size mobile robotic platform designed as both a teaching tool for higher education and a research platform for academia and industry [2]. The platform is designed around a tricycle base with two differentially driven wheels and one caster wheel (Fig. 2). The on-board electronics



Fig. 2. Eduro Maxi

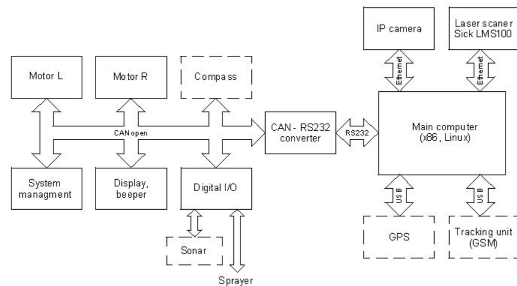


Fig. 3. Hardware structure

consists of smart sensors and actuators connected by a CAN bus. The main controller module is implemented as a single board x86-based computer running Linux OS.

The base of the robot is a construction module that includes a battery and motors. Modules such as the caster wheel or the control panel with buttons and indicators are attached to the base. These modules are made from aluminium profiles and sheets and have many mounting points for simple extending.

Eduro robots use SMAC (Stepper Motor - Adaptive Control) drives. This is an original Robsys technology for gearless drives, which is based on closed loop controlled stepper motors. Eduro Maxi has the motors attached by a simple belt transmission.

The brain of the robot is a single-board computer running Linux OS. The computer is equipped with AMD Geode CPU running at 500 MHz, with 256 MB RAM, compact flash card, wi-fi, 3 Ethernet, 1 RS232 and 2 USB ports. RS232 port is dedicated for CAN bus connection via transparent RS232-CAN bridge. High data throughput without data loss is secured by real-time serial driver.

Eduro uses CAN bus as its main communication network. All sensors and actuators with low data rate requirements are connected through the CAN. CANopen is the preferred communication protocol. Camera and laser range finder are connected directly to the main computer via Ethernet. Except for CAN and Ethernet, I2C and 1-wire Dallas buses are used in the robot. I2C is not designed for large distances (I2C = inter-integrated circuits), therefore it is used for short local buses only. The 1-wire is used for a diagnostic network and advanced power management. Distributed power switches, thermometers, battery chips and other simple sensors and modules are connected via the 1-wire bus. I2C and 1-wire bus are connected to the CANopen network through gateways.

The power supply is provided by two 12 V/8 Ah sealed lead acid batteries. The whole robot uses a single power source to simplify management. The motors are powered from 24 V supply branch, directly from batteries. The main computer, CAN network and most of sensors are powered from a stabilized 12 V branch. The auxiliary 5 V power supply is present for simple connection of the low cost sensors.

B. Sensors

The Eduro carries many sensors but only few of them were really used in Robotour contest. The collision avoidance system employs laser range finder, the road detection algorithm uses data from camera and global navigation was based on compass and odometry. The GPS, sonar and other robot sensors were not used.

The data for odometry is acquired from drives. The drives send actual extended shaft angles every 50 ms with resolution of approximately 0.2 mm. The relative position and orientation of the robot is calculated from this data. The absolute robot orientation is determined by a compass. The compass is a part of the inertial unit. Currently, we use the two-axis compass HMC6352 from Honeywell. It is a one chip solution with I2C bus, however the chip is not visible from CAN. The data from compass and other sensors are periodically polled by the CAN module, processed and then forwarded to the central unit. The azimuth readings from the sensor are converted into 1/100th of degree and sent over CAN bus as a 16bit integer. The update rate is 20 Hz. The HMC6352 is only a two-axis magnetometer, therefore tilt compensation is not possible.

The inertial unit including the compass is mounted on top of the pole away from sources of magnetic fields and ferromagnetic objects. The module itself is covered by a plastic case and no steel parts are used. During experiments, we observed substantial changes in sensor readings caused by even seemingly minor attachments to the pole such as a small umbrella, therefore a caution is needed. A presence of ferromagnetic objects can be compensated by the system, but that requires recalibration and usage of non-linear transformation.

The robot vision uses data from CCTV IP camera with fisheye lens. The camera offers resolution of 1280x1024 pixels with frame rate 30 fps, but due to limited processing power, the quarter resolution (640x512) jpeg images with much lower frame rate are taken.

The last but very important sensor on Eduro Maxi robot is the laser measurement system SICK LMS100. We used it only for collision avoidance system in Robotour contest, but its applicability is much wider. It is a relatively expensive sensor, but provides very useful data. The LMS100 scans robot neighbourhood in a plain and gets distances to the nearest

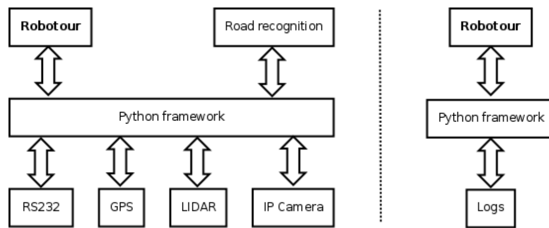


Fig. 4. Software architecture when connected to the real hardware (left) and when reading data from logs (right).

objects. The field of view is 270 degrees with a resolution of 0.5 or 0.25 degree. The detectable distance is up to 20 m, which is sufficient for most small mobile robotic applications. The data is provided by a simple TCP/IP interface with an update frequency of 25 Hz. The LMS100 is appointed for indoor use, but it is usable in outdoor environment too. Only a strong direct sunlight can make troubles. The sensor is reliable enough, therefore we do not use any other sensor for obstacle detection.

V. SOFTWARE

Our high-level code is a combination of C, C++ and Python modules. C is used for parts with strict timing requirements (e.g. real-time communication over the serial line). Vision-based road recognition is programmed in C++. The biggest part of code is formed by our self-made Python framework. The specialized Python code for Robotour is just a thin layer on top of the aforementioned modules (Fig. 4).

A. Logging

Every single data source (CAN network, camera, LIDAR and GPS) is logged into a separate log file. Further, the framework keeps another log to record the order of arrival of the data frames from different sources. This allows us to (i) check, process and debug each data source independently on the other sources, (ii) replay the whole information stream for debugging of the whole code.

To make it possible to debug the program, it must be fully deterministic – given the same inputs, it must send exactly the same commands to the actuators of the robot. For this reason, there must not exist any non-seeded random number generator in the code and only the appropriate (logged) CAN messages are used for timing information. The (logged) GPS signal can be used for a global time coordination with the outer world. The computer clock must not be used anywhere in the code (or a new logged computer clock data source must be created). If multiple threads are to be used, a rigorous synchronization or logging of the interaction must be performed to guarantee the determinism.

These seemingly strict requirements implicate several crucial properties of the code:

- If a (possibly rare) problem occurs during a test run, we have the data ready to reinvoke it.
- When replaying from a log, we can add testing statements without influencing the perceived timing.
- We can even stop the code in a debugger and inspect the variables without being afraid of any timeout kicking in and influencing the behavior.

In the default configuration, when replaying data streams from logs, we verify the determinism of the code: If a command different from a logged one is produced, an error occurs. This works as a great test-case for code refactoring. We relax this condition when developing new code with a new behavior: The real-world data stream is fed into the new code to check for coding errors and strange conditions, but the new commands are not compared to the old ones.

B. Robotour module

The code for Robotour consists of four parts:

- Obstacle avoidance
- Road recognition
- Global localization
- Navigation.

The main requirement of the 2010 rules is the obstacle avoidance. During the start of each round, there are many robots in a confined area. Some of the robots try to move, other robots are broken and form fixed obstacles. Before we even start to think about global navigation and road following, we need to get out of the starting area. For this reason, we implemented a modified VFH+ algorithm [3]. As an input of the algorithm, we do not use a local map, but a current laser scan.

After the robot gets out of the starting area, we expect to have several meters (or tens of meters) to the first junction. To keep the robot on a road, we combine the VFH+ obstacle avoidance (typically, there are objects, such as shrubbery, along the road) with a vision-based road recognition (a heritage from our Short Circuits and Cogito MART history). We also tried to detect a roughness of a surface with the laser scanner, but we did not succeed.

Three key observations from past competitions formed our opinion about global localization for this year:

1) A well-kicked ball could rank third or second in 2009.
2) Under the trees, GPS error of 30 m is no exception.
3) Purely odometric robots (with a compass) can travel several hundred meters in our conditions (Robotour 2006 and 2007).

Aiming for a good competitive behavior (not a winning one), we see, that our desired traveled distance is comparable with a possible GPS noise. On the other hand, odometry allows us tu travel such a distance safely. For these reasons and because of our general approach of iterative improvements, we decided to use odometry for the global localization.

For navigation, we developed a simple application, which allows us to enter waypoints manually. We would prefer an autonomous planning instead of the manual mode, but this is the point where the competition deadline stopped our efforts.

The basic submodules are combined in a straightforward manner. Global localization together with the predefined trajectory give us a direction of the current segment. Given

the direction information from the odometry with the compass, we know our directional deviation. Next, the road-recognition algorithm gives us another hint where to go. We merge these two using a weighted average. The resulting desired direction is put into the obstacle avoidance algorithm, which finds the most appropriate collision-free direction.

VI. Future improvements

A. Hardware

During the competition, we observed our robot to be confused on steep surfaces. The 2D compass is influenced by its tilt and our robot entered a junction in a very unfortunate direction, which in turn forced the robot to leave by a wrong road. Because Eduro Maxi is a grown-up "small" Eduro, it could be reasonable to change the motors for stronger ones. This year, we also enjoyed a very nice weather during the competition, but we cannot rely on it for the next year. We need to make the robot more water-proof. We are also running on the performance limits of the on-board PC.

B. Software

Our incremental development stopped at the point of navigation and localization. For the next year we wish to:

- tune the odometry (possibly with the 3D compass),
- develop a more complex localization, possibly incorporating the inaccurate GPS,
- build and use a local map for obstacle avoidance,
- run an autonomous trajectory planner.

Without the local map, it is possible for our robot to leave the road while avoiding an obstacle. With the map, the standard VFH+ can be used to prevent this issue. During the competition, after the robot turned wrong, the absence of a planner prevented it from recovering and going back.

VII. Summary

In this article, we have described our focus on reliability and incremental improvements (Sec. II) and how it was reflected in our (Sec. III) hardware (Sec. IV) and software (Sec. V). We also reveal current weaknesses of the robot and how we want to handle them (Sec. VI). We hope this helps current and future teams to organize their work and choose such solutions, that there are more reliable and better robots in the next years.

References

[1] J. Iša and M. Dlouhý, "Robotour – Robotika.cz Outdoor Delivery Challenge," in *Proceedings of Robotics in Education (RIE 2010)*, Bratislava, Slovakia, September 2010, pp. 89–93.

[2] M. Dlouhý, J. Roubíček, and T. Roubíček, "EDURO – Mobile Robotic Platform for Education," in *Proceedings of Robotics in Education (RIE 2010)*, Bratislava, Slovakia, September 2010, pp. 107–111.

[3] I. Ulrich and J. Borenstein, "VFH+: Reliable Obstacle Avoidance for Fast Mobile Robots," 1998.



Projekt automatického řízení vozidla

ROBOAUTO

(ROBOCAR)

Model Quido
<u>Robotour 2010</u>

Členové týmu: Tomáš Ondráček, Jan Najvárek, Pavel Brzobohatý, Pavel Černocký, David Herman, Jiří Zbirovský, Vojtěch Robotka

Občanské sdružení Roboauto: tym@roboauto.cz

Abstrakt
Tento článek popisuje architekturu modelu robotnického vozidla Quido vytvořeného v rámci projektu Roboauto a použitého na soutěži Robotour 2010. Základem modelu je modelářský podvozek, který je osazeno těmito snímači: LIDAR, odometr, GPS, IMU(inerciální jednotka), elektronický kompas.

Úvod

V rámci projektu Roboauto bylo v 2. fázi vytvořeno modelové vozítko, které dostatečně simuluje chování reálného vozidla a je schopno nést snímače a zařízení posléze použitelné i na reálném vozidle. Toto modelové vozidlo je pracovně pojmenováno Quido.
S vozidlem se tým účastnil soutěže Robotour 2010.

Technické provedení vozítka

Jako základ pro vytvoření pohyblivého vozidla (modelu) je použit modelářský podvozek 1:10, který je původně určen pro modely se spalovacím motorem. Podvozek má pohon na všechny 4 kola, dobré odpružení a byl upraven na elektrickou pohonnou jednotku.

Pro bezpečné uchycení snímačů na vozidle byl do vozidla přidán **kovový hliníkový rám**. Na něm jdou přípravky s navrtanými otvory umožňující přichycení i těžkých snímačů pomocí metrických šroubů. Kovový rám je pevně spojen s autem (způsobem kov-plast-kov).

Řídicí systém

Pro řízení jsou využity (1-2) notebooky s příslušnými rozhraními USB-RS232, USB-RS422, USB-I2C. Notebooky fungují pouze na svoje baterie. Počítače jsou spojeny v lokální ethernet síti přes malý LAN a Wifi router. V současné době výkonnostně postačuje pro kompletní řízení vozidla jediný notebook, druhý se používá v případě verze důkladnějšího zpracování videa.

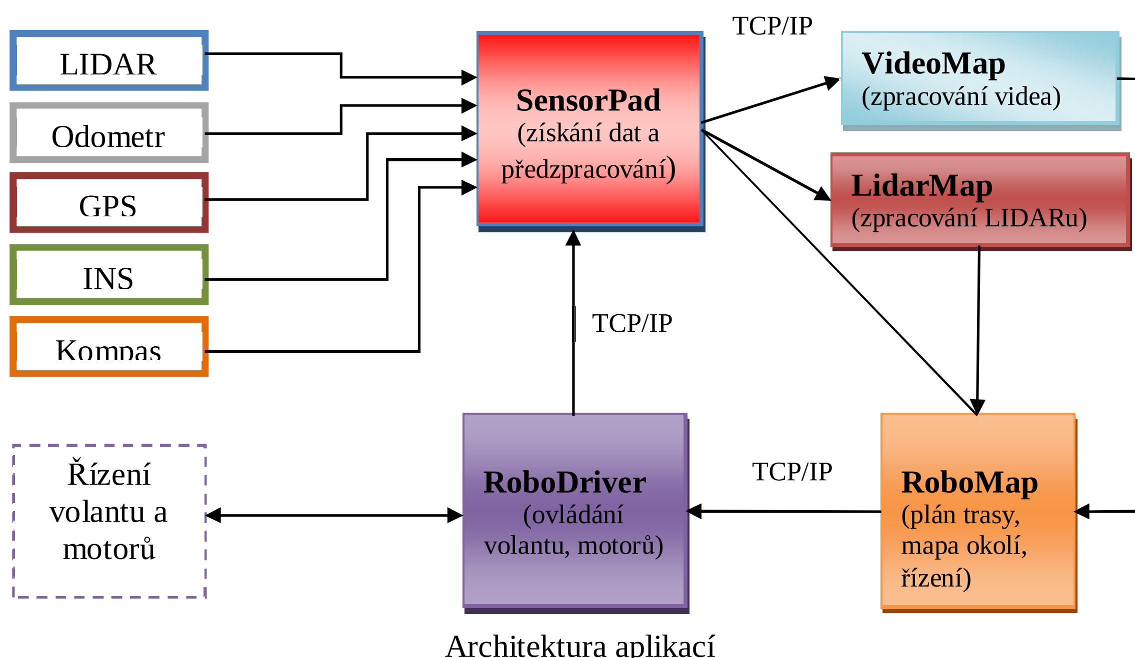
Senzory

Na vozidle jsou instalovány následující senzory:

- Optický radar **Lidar** LMS 100, připojen do notebooku přes TCP/IP
- **GPS** pro určení globální polohy
- **IMU**(inerciální jednotka) obsahující 3D akcelerometry a 3D gyro připojené k notebooku přes CAN bus a RS232. V současnosti použita pro měření náklonů a jako gyrokompas.
- **Odometer** na převodovce připojen do notebooku přes RS232
- Magnetický **kompas –** připojen do notebooku přes I2C
- **Kamera –** pro lokální orientaci a určení pozice připojená přes FireWire
- krátko-dosahovéch UZ snímačů pro bezpečné couvání připojené přes I2C

Softwarové řešení

Samotné softwarové řešení je koncipováno formou nezávislých aplikací, které spolu spolupracují přes protokol TCPIP.

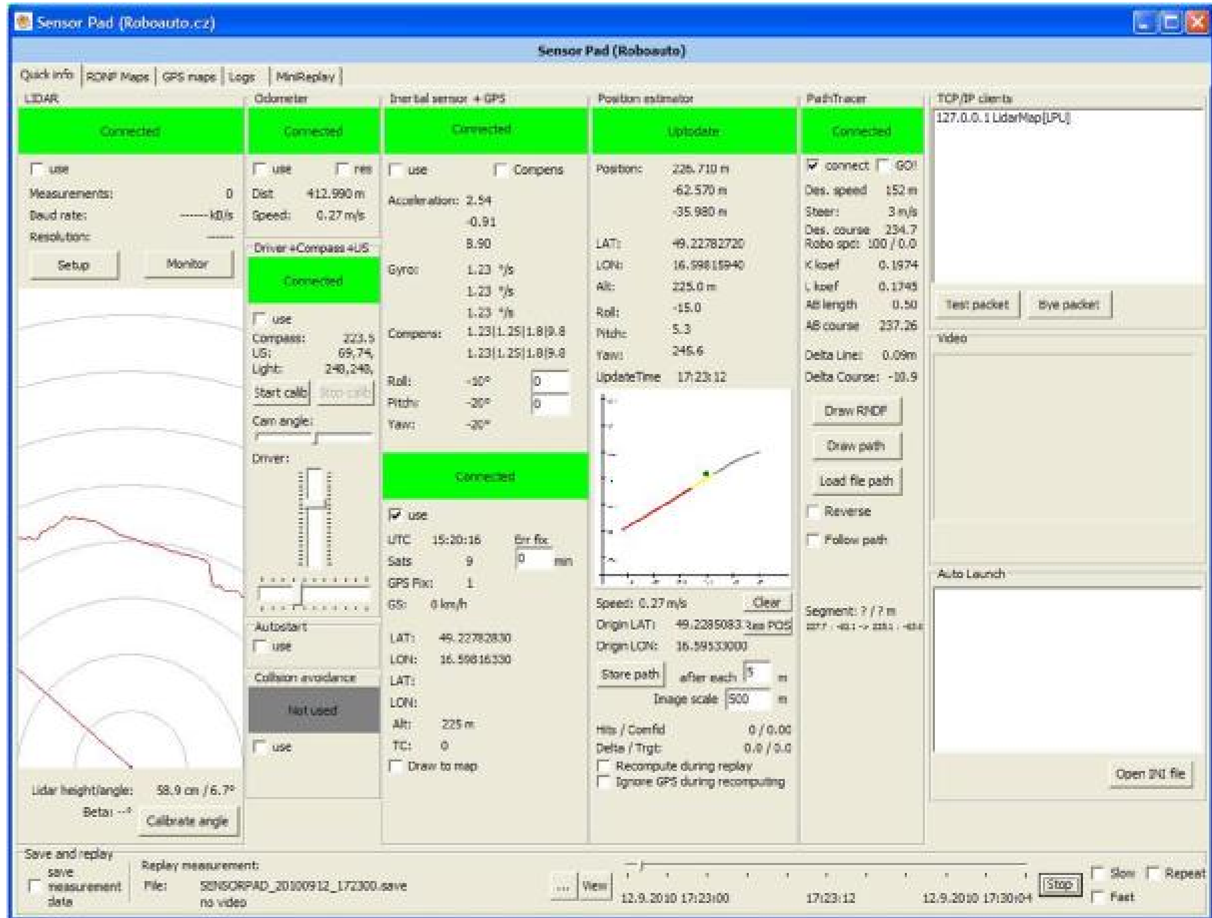


Architektura aplikací

Základními softwarovými moduly jsou:
SensorPad – zajišťuje připojení a získání dat ze všech snímačů. Tyto data pak poskytuje pomocí TCPIP streamu dalším aplikacím. Každá aplikace si může vybrat, která data chce ze SensorPadu získávat. Aplikace vytvořena v Delphi.
RoboDriver – zajišťuje spojení s výkonovou elektronikou vozidla, přijímá požadavky na řízení a ty aplikuje. Dokáže přijímat více zdrojů řízení a podle priority je aplikovat (např. Collision Avoidance modul zabraňující srážce má vyšší prioritu než samotné inteligentní řízení). Aplikace vytvořena v Delphi.
Videomap – zpracování videa, identifikace cesty a překážek, využívá i informací z Lidaru. Vytvořeno v jazyce C++ s využitím knihovny OpenCV.
LidarMap – používá informací z Lidaru pro rozpoznání cesty a překážek. Vytvořeno v jazyce Delphi.
RoboMap – zajišťuje zpracování vstupních dat, díky nimž modeluje mapu okolí vozidla, a plánuje budoucí trasu. Pomocí propojení na RoboDriver řídí samotné vozidlo. Aplikace vytvořena v jazyce Java.

SensorPad

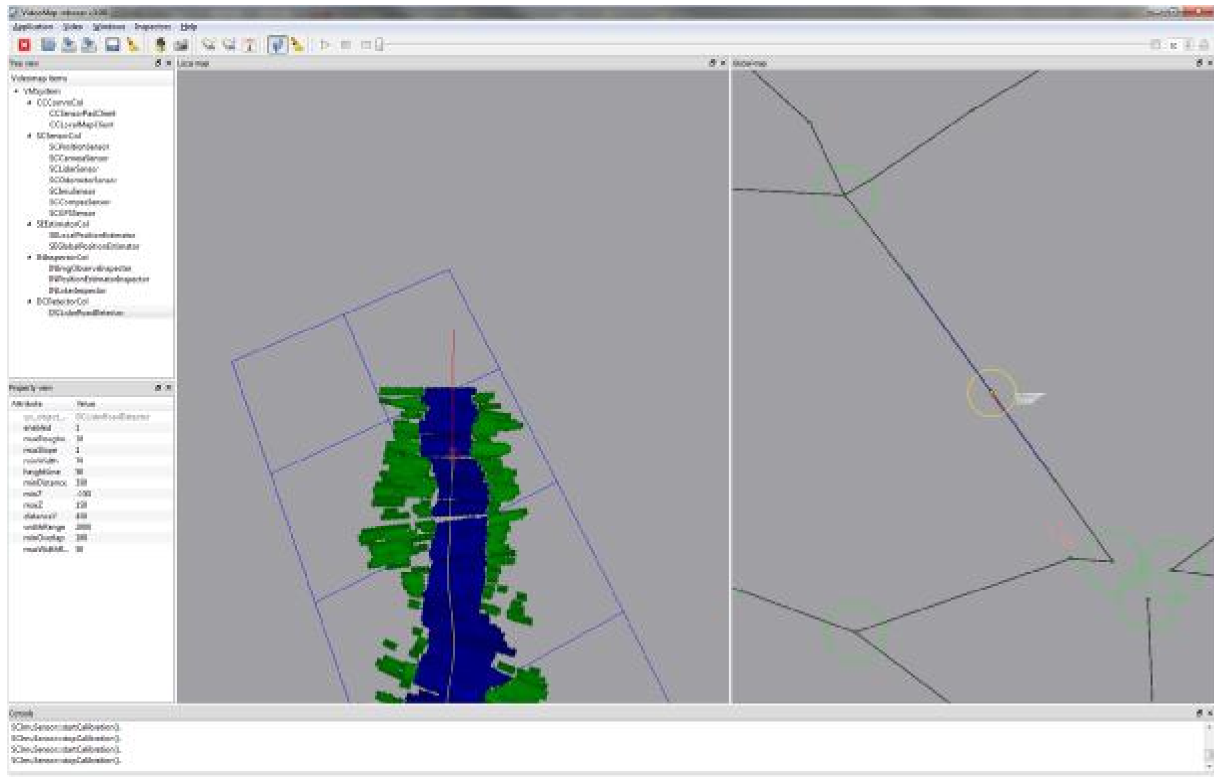
Aplikace zajišťuje připojení a získání dat ze všech snímačů. Přehledně zobrazuje stav spojení se snímači a také slouží k vizualizaci základních měřených veličin (např. Lidar). Umožňuje i ukládání všech dat a jejich přehrání později (vhodné pro diagnostiku a simulování testovacích případů).



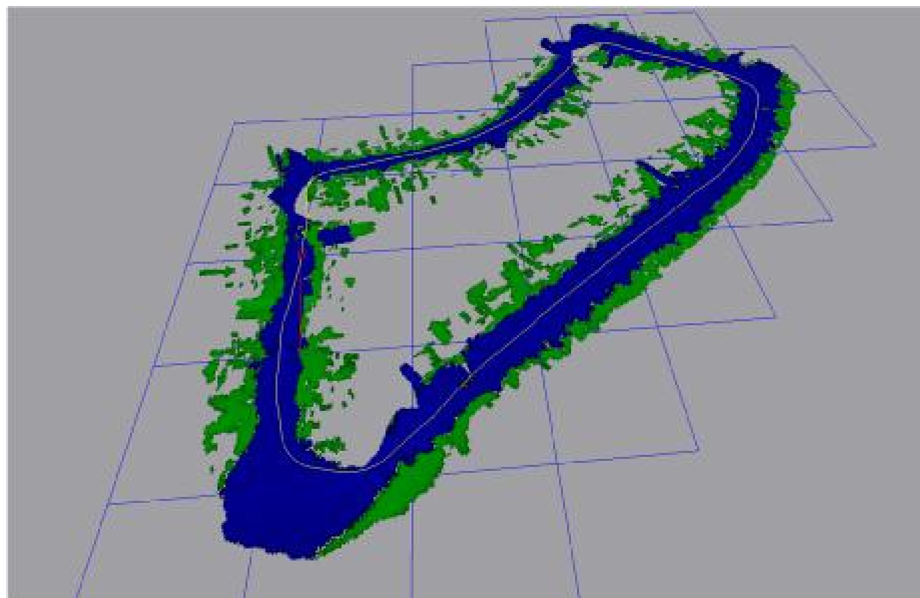
Hlavní obrazovka SensorPadu

VideoMap

Modul pro zpracování video vstupu z kamery umístěné na stožáru vozidla (pro lepší rozhled).



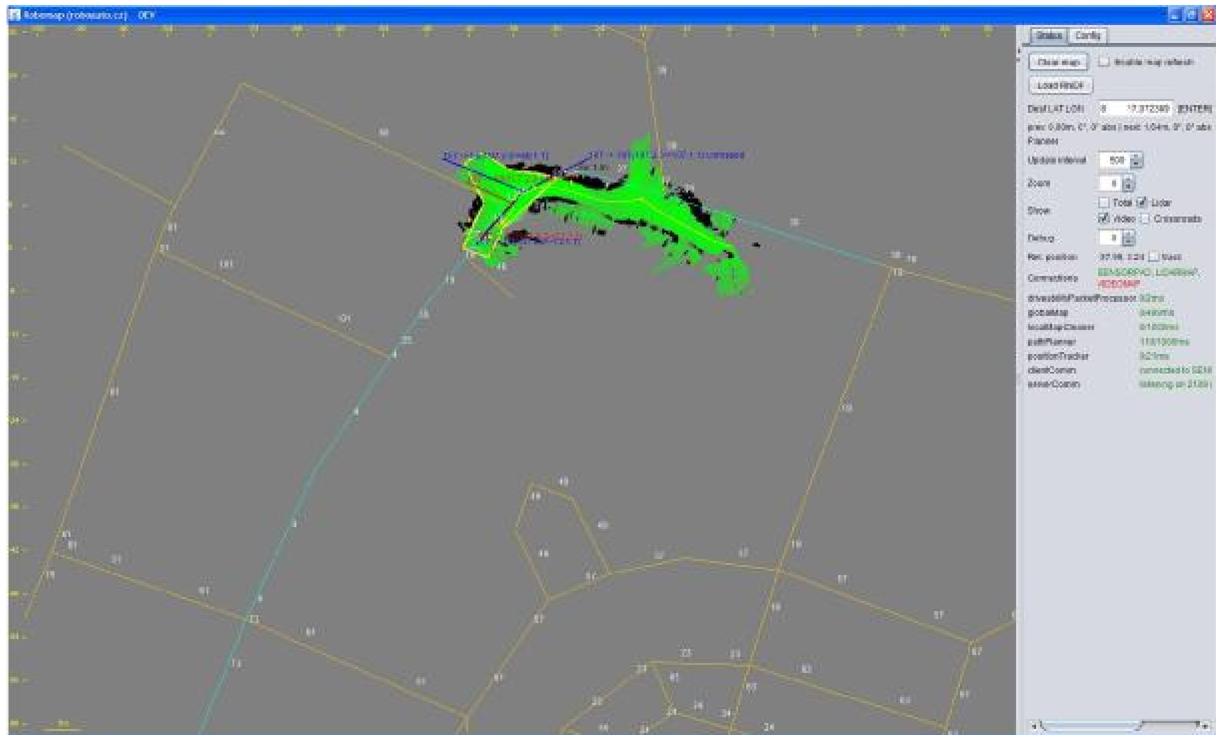
VideoMap



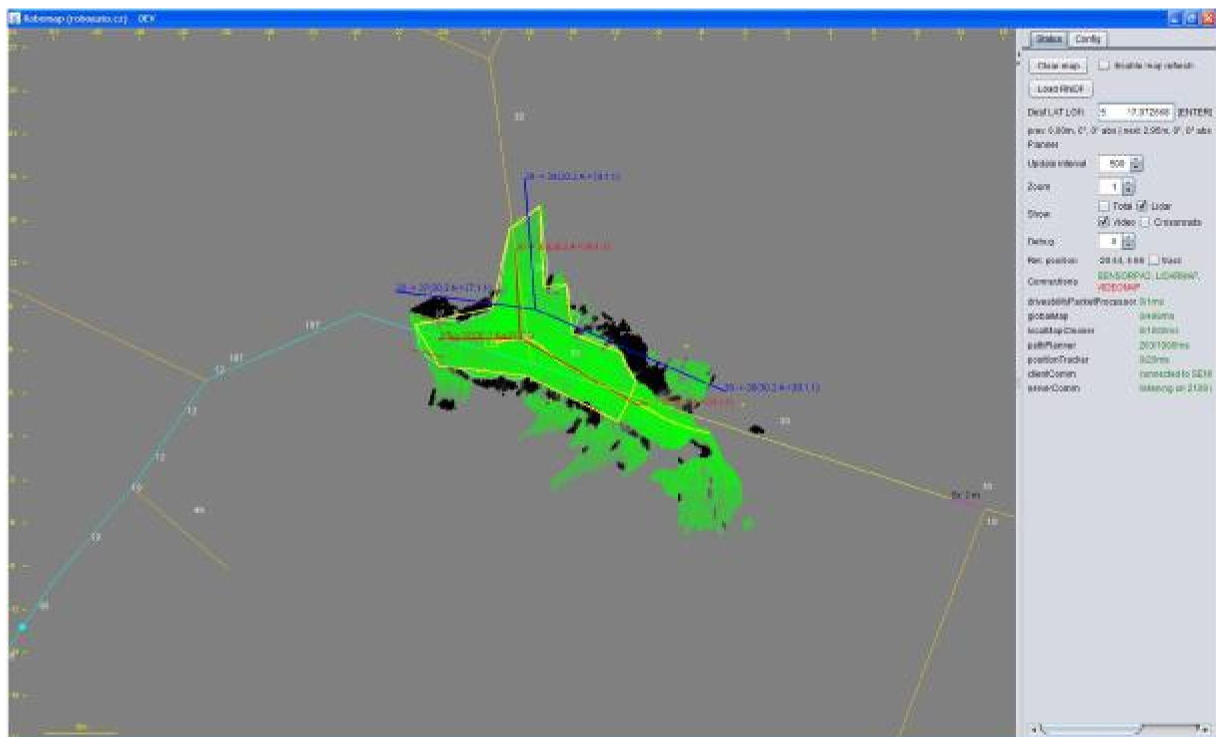
Rozpoznaná cesta v parku

RoboMap

Aplikace zajišťuje zpracování vstupních dat, díky nimž modeluje mapu okolí vozidla, a plánuje budoucí trasu. Aktuální verze dokáže rozpoznat vozovku (dle mapy sjízdnosti a tvaru), identifikuje křižovatky včetně výjezdů a rozpoznává statické a dynamické překážky.



RoboMap – orientace v globální mapě



RoboMap – identifikace křižovatky

Průběh soutěže

Pro tento rok jsme zcela přepracovali řídicí software Robomap, který nově:

- rozpoznával vozovku podle tvaru v mapě sjízdnosti
- rozpoznával křižovatky a výjezdy z nich v lokální mapě a ty pak mapoval na globální OSF mapu
- uměl naplánovat trasu jízdy pomocí manévrů, které je vozidlo schopno provést, a to včetně couvacího manévru v případě, že rozpoznal odbočku příliš pozdě

Soutěže Robotour jsme se zúčastnili již potřetí, používáme tedy nabytých zkušeností z předchozích ročníků k tomu, abychom neopakovali klasické chyby (neotestované změny těsně před soutěží, spoléhání na GPS či magnetický kompas).

Nicméně běžnému problému – nedostatku času na přípravu nové verze – se ubránit neumíme. Ten nám v letošním ročníku způsobil, že automatické řízení vozidla nebylo odladěno tak dobře, jak by mohlo.
Proto jsme během všech kol měli následující potíže:

- objíždění překážky nebylo přesné, naráželi jsme do objížděné překážky z boku (senzor již překážku neviděl)
- některé překážky byly špatně identifikovány či neidentifikovány vůbec
- při couvání reagovaly ultrazvukové snímače pomalu, takže jsme do překážky narazili

V letošním ročníku jsme skončili na 2. místě, což vzhledem k nesladěnosti nového software bereme jako úspěch.

Závěr

Ačkoli účast v soutěži není primárním cílem projektu, poskytuje nám velmi cenný „reality check“ a motivaci dokončit fungující řešení v pevném termínu. Díky tomu se naše práce posouvá rychleji, i když týden před soutěží je velmi hektický, což je ale asi případ každého týmu.

Se současnou architekturou systému a algoritmy jsme koncepčně spokojeni, nicméně je nutné dopracovat detaily.

Naše cíle na nadcházející období:

- vyladění stávající verze software, vyřešení slabých míst
- další vylepšení algoritmů
- příprava na vytvoření roboauta na platformě osobního vozidla

Závěrem bychom rádi poděkovali organizátorům za výbornou organizaci soutěže a vůbec za realizaci tohoto zajímavého setkání nadšenců v oblasti robotiky.

Sponzoři

Děkujeme za podporu našich sponzorů:

- Artin spol. s r.o. – vývoj software
- Sick spol. s r.o. – senzory a senzorické systémy

Reference

[1] *S. Thrun, M. Montemerlo, and A. Aron.* **Probabilistic Terrain Analysis For High-Speed Desert Driving**. Proc. Robotics Science and Systems, Philadelphia, PA, USA, August, pages 16--19, 2006

[2] *D. Stavens, G. Hoffmann, and S. Thrun.* **Online Speed Adaptation using Supervised Learning for High-Speed, Off-Road Autonomous Driving.** In Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence 2007 (IJCAI07). Hyderabad, India.

[3] *Občanské sdružení Robotika*. **Sborník Robotour 2007**. sborník ze soutěže ve Stromovce r. 2007

[4] *D. Herman,* **Lokální navigace autonomního mobilního robota,** Diplomová práce, VUT v Brně, Fakulta Informačních Technologií, Ústav Inteligentních Systémů, Brno, 2010

Robot pro Robotour 2010

D. Herman, T. Ondráček, J. Najvárek, J. Zbirovský, P. Brzobohatý,
V. Robotka, F. Orság a M. Drahanský

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií,
Božetěchova 2, 612 66 Brno, Česká republika
{iherman,orsag,drahan}@fit.vutbr.cz
tym@roboauto.cz
http://www.fit.vutbr.cz,http://www.roboauto.cz

Abstrakt Tento článek popisuje architekturu robotického systému pro Robotour 2010, který byl vytvořen pod záštitou projektu Roboauto. Základem modelu je podvozek automobilového typu, jenž nese celou řadu senzorů pro detekci cesty a lokalizaci robota v parkovém prostředí. V tomto ročníku soutěže byli nasazeni dva velikostně rozdílní roboti, aby se ověřila obecnost vytvořeného konceptu.

Keywords: robot, robotour, navigační architektura, UKF, lidar, kamera

1 Úvod

V posledních letech je v civilní sféře populární výzkum autonomních mobilních vozidel sloužících pro transport osob nebo zboží. S problematikou všech pohybujících se systémů úzce souvisí otázka jejich navigace, jež zastřešuje velice složitou sekvenci podúloh, počínaje sběrem dat ze senzorů, lokalizací, tvorbou modelu okolního prostředí, plánováním a konče samotnou realizací ustanoveného plánu.

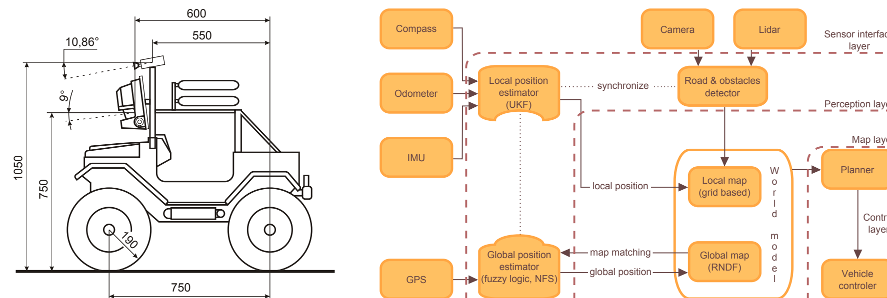
Nadto je třeba, aby robot uměl řešit nečekané situace, kolize s překážkami apod., neboť reálné prostředí, v němž se pohybuje, představuje vysoce dynamický systém.

2 Experimentální platforma

Jako základ pro vytvoření pohyblivého vozidla s pracovním názvem Karlík je použito modifikované dětské vozítko PégPerego z tvrzeného plastu. Pro bezpečné uchycení senzorů byl přidán kovový rám z ohýbaného plechu, který je pevně spojen s kostrou robota. K rámu je připevněna přihrádka pro uchycení notebooků. Kvůli přemístění těžiště byly přesunuty baterie z přední části auta do části zadní. Dále bylo nahrazeno hřebenové řízení servomotorem, který je přímo připojen na táhla kol. Snaha o potlačení otřesů vedla k výměně originálních plastových kol za kola gumová a také k odpružení podvozku (viz obr č. 1, mechanická konstrukce robota).

Senzorický systém robota tvoří optický dálkoměr od firmy SICK LMS 221, barevná kamera SONY FCB-IX11AP, inerciální jednotka s čipem ADIS163262 a GPS přijímač s čipem SIRF3. Dále je robot vybaven odometrem a elektronickým kompasem CMPS03.

Druhá robotická platforma se jménem Quido vychází z modelářského podvozku 1:10 s pohonem na všechna čtyři kola. Na vozítko byl vyroben hliníkový rám, který je s podvozkem pevně spjat a jenž dovoluje uchycení i relativně těžkých senzorů pomocí metrických šroubů. Senzorický systém vozidla Quido je obdobný jako u vozidla Karlík.



Obrázek 1. Mechanická konstrukce (robot Karlík) a navigační architektura robota.

3 Navigační architektura

Autonomní řízení musí být spolehlivé, robustní vůči chybám a musí běžet v reálném čase. Navržená navigační architektura pokrývá tyto požadavky pomocí distribuovaných softwarových modulů. Architektura vychází z paralelního řetězeného zpracování, a proto je komunikace mezi moduly odlišné vrstvy seřazená a bufferovaná (viz obr č. 1). Vstupní data senzorů jsou postupně transformována do interních modelů, plánů činnosti a nakonec konkrétních pohybových úkonů. Koncept navigační architektury sestává ze třinácti modulů běžících souběžně ve čtyřech vrstvách.

- Senzorická vrstva zahrnuje moduly rozhraní k dílčím senzorům, které provádí nízkoúrovňové předzpracování dat (např. odstranění chyby způsobené unášením u gyr) a data časově orazítkují.
- Percepční vrstva transformuje měření do interních datových struktur, respektive vykonává vysokoúrovňové zpracování dat. Primárními moduly této vrstvy jsou moduly poziční estimace, která je dvojího typu - lokální a globální.
- Mapovací vrstva se skládá ze dvou vnitřních modelů světa, jednak pro lokální navigaci, jednak pro globální navigaci. Lokální model je budován mapováním výsledků z modulů detekce sjízdného povrchu dle polohy získané z lokálního

odhadu pozice do vnitřní reprezentace založené na mřížce obsazenosti. Globální mapa není autonomně tvořena, ale je do systému dodána z vnějšku ve formátu OSM.
- Kontrolní vrstva se stará o plánování a řízení robota jak na lokální úrovni (vyhýbání se překážkám, udržení robota na cestě, detekce křižovatek), tak i na globální úrovni (rozhodování na křižovatkách, naplánování trasy do cíle).

Kognitivní systém se dvěma vnitřními modely světa dle měřítka navigace představuje účinnou architekturu řešící celou řadu stěžejních problémů v autonomních mobilních systémech pohybujících se v rozsáhlých nestatických prostředích (více viz [2]).

4 Detekce sjízdného povrchu

Detekce sjízdného povrchu v parkovém prostředí se řadí k nejnáročnějším pasážím kognitivního systému autonomního robota, přičemž robustnost, přesnost a spolehlivost zvolených klasifikačních metod implikuje úspěšnost celé platformy. Bez dostatečné úrovně rozpoznání scény a jistoty rozpoznávacích metod je delší pohyb v dynamickém prostředí pro robota takřka nemyslitelný.

V detekci sjízdného povrchu a překážek se uplatňují data z laserového dálkoměru a barevné kamery. Vlastní metoda detekce cesty je vybudovaná na těchto předpokladech:

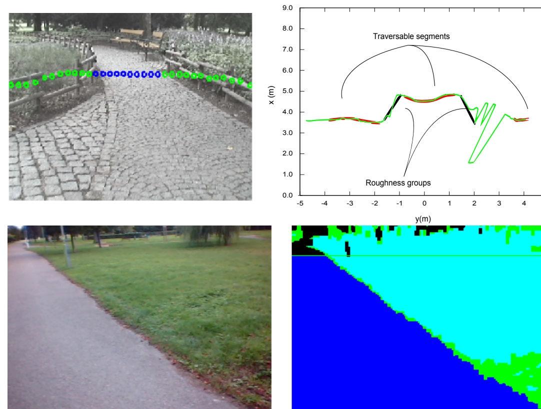
- cesta je tvořena prostorově souvislou množinou bodů s význačnou barvou,
- cesta má nízkou míru „hrbolatosti" a nulový, nebo velmi malý sklon,
- cesta je nejméně tak široká, jako je šířka robota,
- cestu lze aproximovat rovinou.

Díky uvedeným předpokladům lze definovat dostatečně diskriminativní příznaky jako jsou hrbolatost, prostorová souvislost, barevný profil cesty aj., které umožňují relativně úspěšnou detekci sjízdného povrchu (viz obr. č. 2).

5 Lokální navigace

Pod pojmem lokální navigace se skrývá problematika řešení odhadu relativní pozice robota vůči okolním objektům a způsob interakce s blízkým okolím, jmenovitě detekce sjízdného povrchu, volba lokálního cíle atp. Jako abstraktní model prostředí pro fúzi zpracovaných senzorických dat byla zvolena 2D mřížka obsazenosti, kde hodnoty buněk reprezentují míru jistoty rozpoznávacích algoritmů cesty (věrohodnostní přístup). Klíčovým prvkem senzorické mapy je pevná souřadná soustava určená počátečním bodem, ke kterému jsou lokalizována všechna měření. Mapování výstupu detekce probíhá dle dat z lokálního pozičního estimátoru (obr. č. 1, navigační architektura).

Lokální poziční estimátor je *de facto* virtuálním senzorem agregujícím data z odometrie, kompasu a inerciální jednotky na základě dynamického modelu robota s využitím UKF (Unscented Kalman Filter, [1]). Data z GPS senzoru nejsou



Obrázek 2. Detekce cesty pomocí lidaru, detekce cesty pomocí kamery.

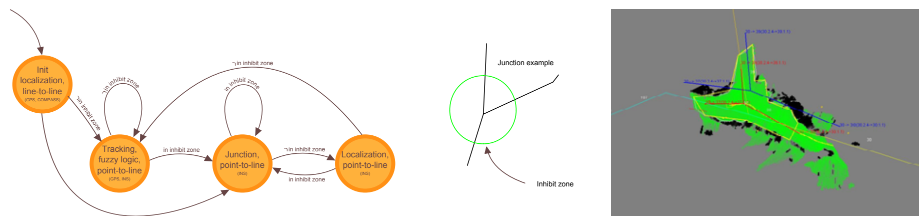
díky své povaze chyb agregována kalmanovým filtrem již v tomto bodě, neboť pro přesnost lokální mapy při lokální navigaci v jednotkách metrů není rozhodující a ani podstatná akumulační chyba, ale plynulá změna mezi udávanými polohami vozidla pro zajištění korektního mapování výsledků detekce.

Samotné plánování pohybu robota je postaveno na sadě předem definovaných manévrů, jež odpovídají fyzickým možnostem platformy, a na algoritmu A*. Volba lokálního cíle souvisí s estimovanou pozicí robota na globální mapě. Pakliže se robot nachází v blízkosti křižovatky a byla-li detekovaná tato křižovatka i v lokální mapě, tak výběr lokálního cíle reflektuje požadované odbočení vozidla správným směrem. V opačném případě se lokální cíl volí na střed cesty ve vhodné vzdálenosti od robota.

6 Globální navigace

Kombinace globálního polohovacího systému a interního navigačního systému (INS) má doplňující se vlastnosti. GPS poskytuje globální poziční informaci s nízkou frekvencí, avšak bez integrační chyby. Právě nízkou frekvenci a občasnou nedostupnost dat lze kompenzovat INS, jenž není závislý na vnějších signálech a představuje spojitý měřící systém.

Navržená lokalizační metoda pro globální lokalizaci slučuje poziční informaci z více zdrojů pomocí fuzzy logiky a využívá metrických a topologických informací obsažených v mapě. Globální odhad pozice robota je nejprve získán z GPS senzoru. Následně je provedena konfrontace výsledku s dodanou mapou ve formátu OSM aplikováním porovnávací techniky *point-to-line* a případná korekce globální pozice (obr. č. 3). Pro nalezení cesty z počáteční pozice do cílové byl použit Dijkstrův algoritmus.



Obrázek 3. Metoda globální lokalizace, lokální mapa.

7 Závěr

Navigace autonomních mobilních robotů představuje komplexní úlohu, jež se koncentruje do schopnosti přesunu robota z aktuální pozice na pozici cílovou. Pouze běh robota v reálném prostředí může zaručit správnost a použitelnost uvedených metod, protože samotná počítačová simulace není schopna postihnout všechny aspekty, které mohou ve skutečném okolí robota nastat. A proto ačkoliv účast v soutěži není primárním cílem projektu Roboauto, poskytuje nám velmi cenný „reality check“ a motivaci dokončit navržená řešení v pevném termínu.

V letošním ročníku soutěže byl nastíněný přístup použit nezávisle na dvou odlišných robotech, aby se ověřila obecnost celého návrhu. Mimo vlastní soutěž byl každý robot schopen bezchybně absolvovat desítky metrů dlouhou dráhu. Bohužel komplikací se stal hromadný start, kdy byl větší robot (Karlík) prakticky vyřazen ze hry kvůli nedostatku snímačů pro detekci velmi blízkých a malých objektů. Nicméně menší robot (Quido) se umístil na pěkném druhém místě.

V dalším roce se zaměříme především na vývoj protikolizního systému, lepší plánování pohybu robota a odladění nízkoúrovňového řízení, neboť právě tyto části se ukázaly v tomto ročníku soutěže jako kritickými a nejméně odladěnými.

Poděkování

Rádi bychom poděkovali pořadatelům za výbornou organizaci soutěže a vůbec za realizaci tohoto zajímavého setkání nadšenců v oblasti robotiky.

Tato práce vznikla částečně za podpory grantu FIT VUT v Brně, FIT-S-10-1 „Bezpečné, spolehlivé a adaptivní počítačové systémy“ a výzkumného záměru „Výzkum informačních technologií z hlediska bezpečnosti“ MSM0021630528.

Reference

1. S.J. Julier and J.K Uhlmann. A new extension of the Kalman filter to nonlinear systems. In Proc. of AeroSense: The 11th International Symposium on Aerospace/Defence Sensing, Simulation and Controls, 1997.
2. D. Herman, Lokální navigace autonomního robota, diplomová práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2010.

Dokumentace robota Vector

Lukáš Čížek
cizelu@gmail.com
24. srpna 2010

Robot Vector je outdoorový robot vyvíjený od roku 2007 členy klubu Robozor (Jakub Kákona, Martin Povišer, Kryštof Celba, Roman Dvořák, Lukáš Čížek) pod vedením Ing. Martina Kákony. Byl vyvíjen pro soutěž Robotour, ale v roce 2010 odstartoval i na soutěži Robotem rovně v Písku.

Robot je postaven na čtyřkolovém podvozku z invalidního vozíku s náhonem předních kol, která jsou poháněna elektrickými motory s převodovkou napájenými z 12V olověného akumulátoru, který zajišťuje napájení všech elektronických součástí robota. Řídící elektronika se skládá z několika modulů MLAB, jejichž výčet najdete níže, a počítače (NetTopu) Prestigio Ion.

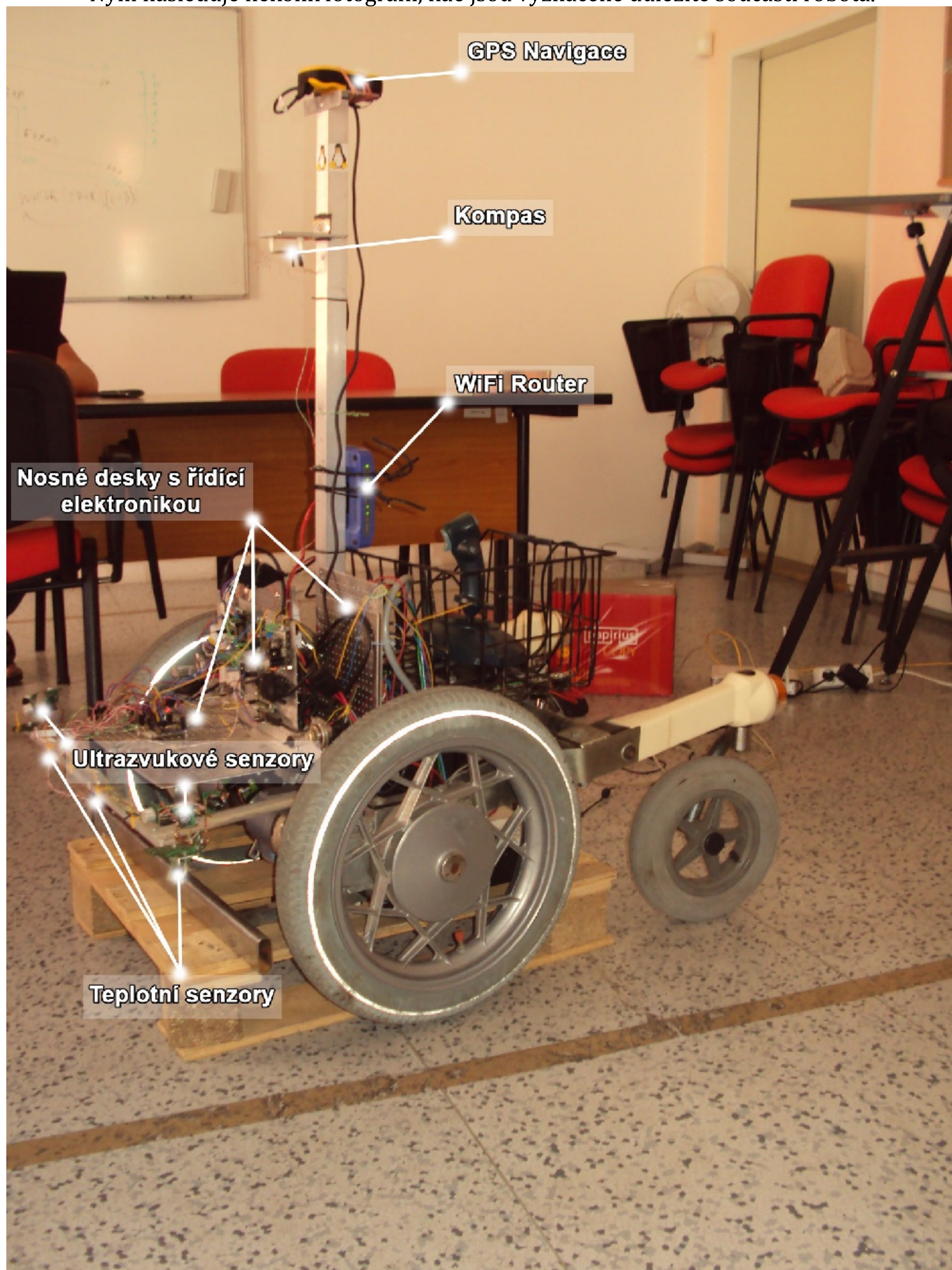
NetTop Prestigio Ion disponuje dvoujádrovým procesorem Intel Atom taktovaným na frekvenci 1,6 GHz, pamětí RAM DDR2 o velikosti 2GB (2x1024MB) a integrovanou grafickou kartou nVidia GeForce 9400. Pro ukládání dat slouží 2,5" pevný disk s kapacitou 250GB. Počítač navíc disponuje šesti USB konektory, jedním konektorem RJ-45 pro ethernet, HDMI konektorem, výstupem pro sluchátka a vstupem pro mikrofon.

K tomu, aby se robot udržel na cestě, slouží trojice teplotních senzorů MLX90247. Navigaci v terénu robotovi zajišťuje GPS navigace a kompas CMPS03. Kromě čidel pro jízdu po cestě jsme museli robota vybavit i čtyřmi ultrazvukovými senzory SRF02 a dvěma ultrazvukovými senzory MaxSonar-EZ3, neboť je potřeba detekovat různé překážky, které se na cestě mohou objevit (náhodní chodci, lavičky, odpadkové koše, figurant, zvědavá babička atd). Dále jsme robotovi implementovali dva modifikované senzory z inkoustové tiskárny HP pro měření rychlosti otáčení hřídelí obou motorů, a tak by při dorovnání počtu otáček měl robot jet rovně, ale v praxi se ukázalo, že rozdílný tlak vzduchu v pneumatikách způsobuje nezanedbatelnou výchylku, kterou tímto způsobem nelze kompenzovat.

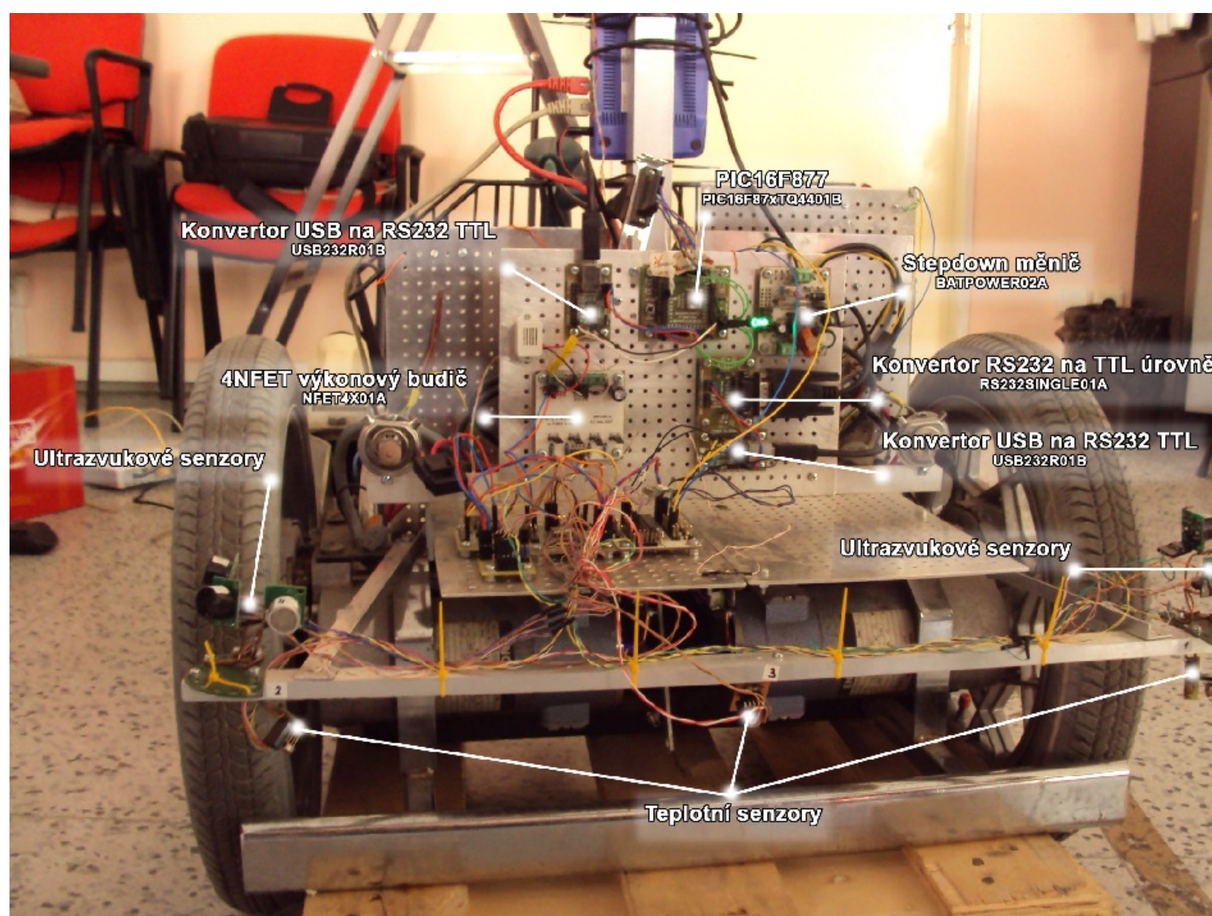
Robot Vector dosahuje hmotnosti téměř 40kg a rozměrů 0,674m x 1,1m x 1,2m (šířka x délka x výška. Komunikace mezi robotem a programátory je zajištěna pomocí WiFi Access Pointu. Dále je k robotovi připojen upravený joystick s pěti tlačítky.

Na robotovi je nainstalován Linux s jádrem verze 2.6.31.16. Konkrétně se jedná o distribuci Ubuntu (10.04 Lucid Lynx). Při programování robota bylo použito několik programovacích jazyků: C, C++, Lula a Python.

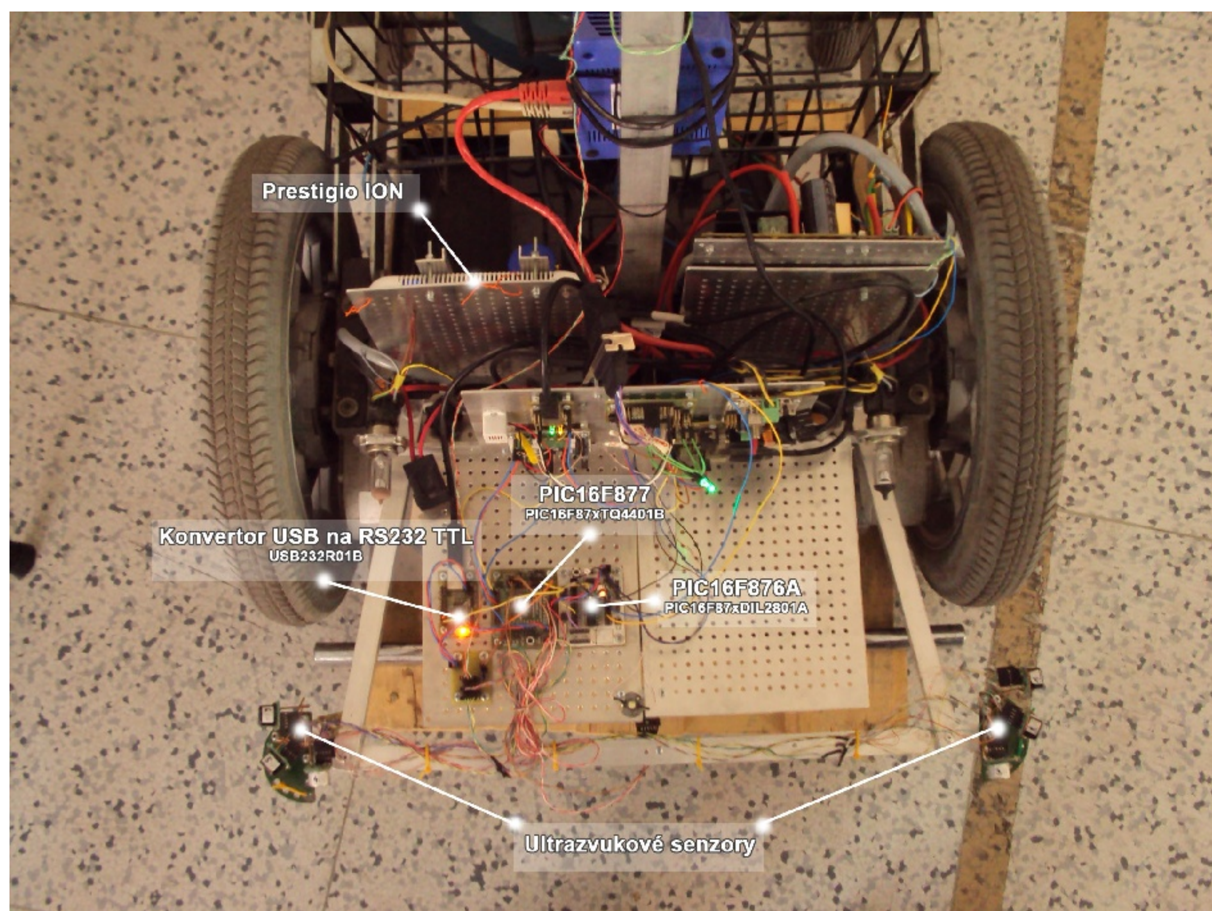
Nyní následuje několik fotografií, kde jsou vyznačené důležité součásti robota.



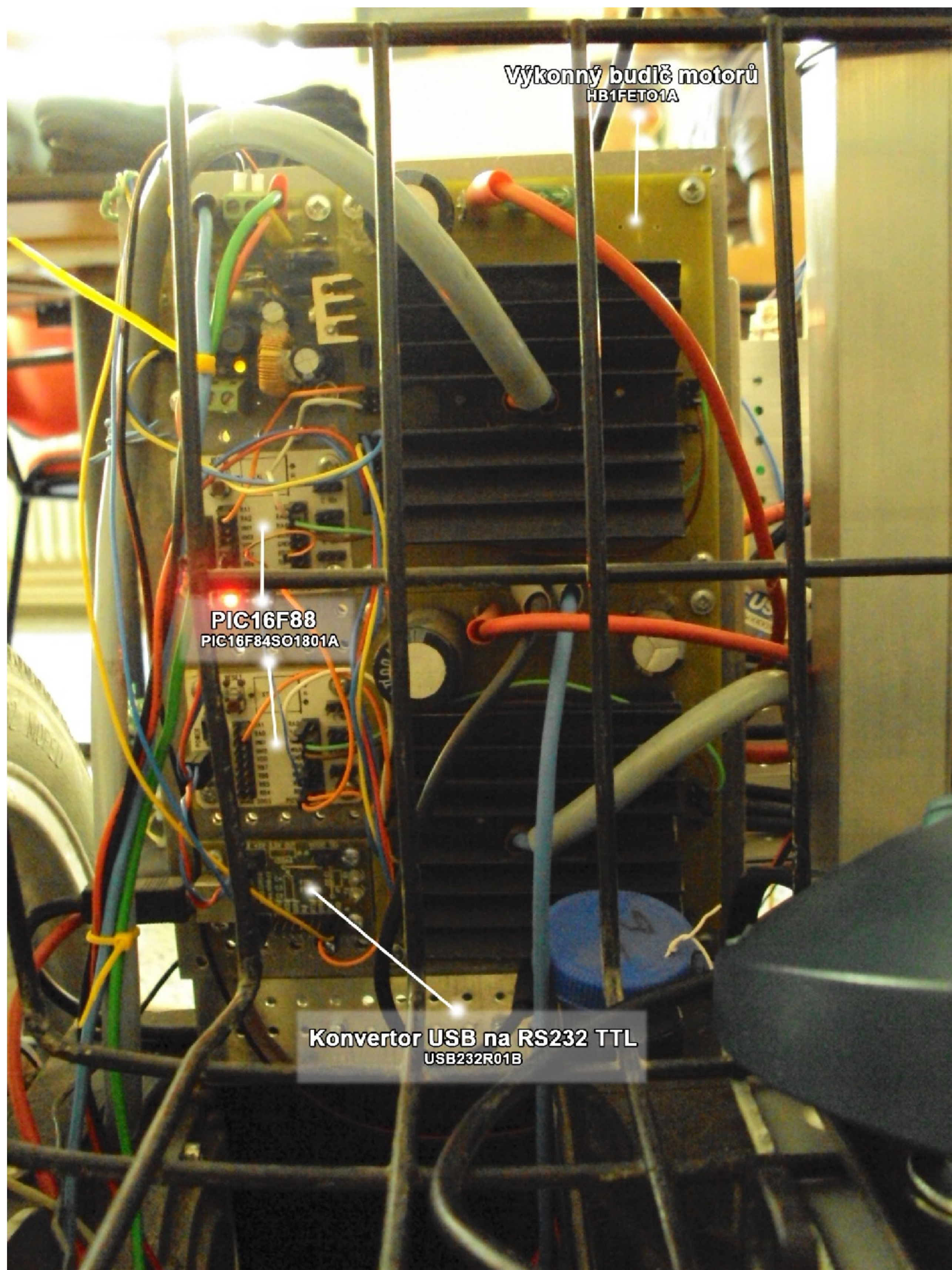
celkový pohled na robota



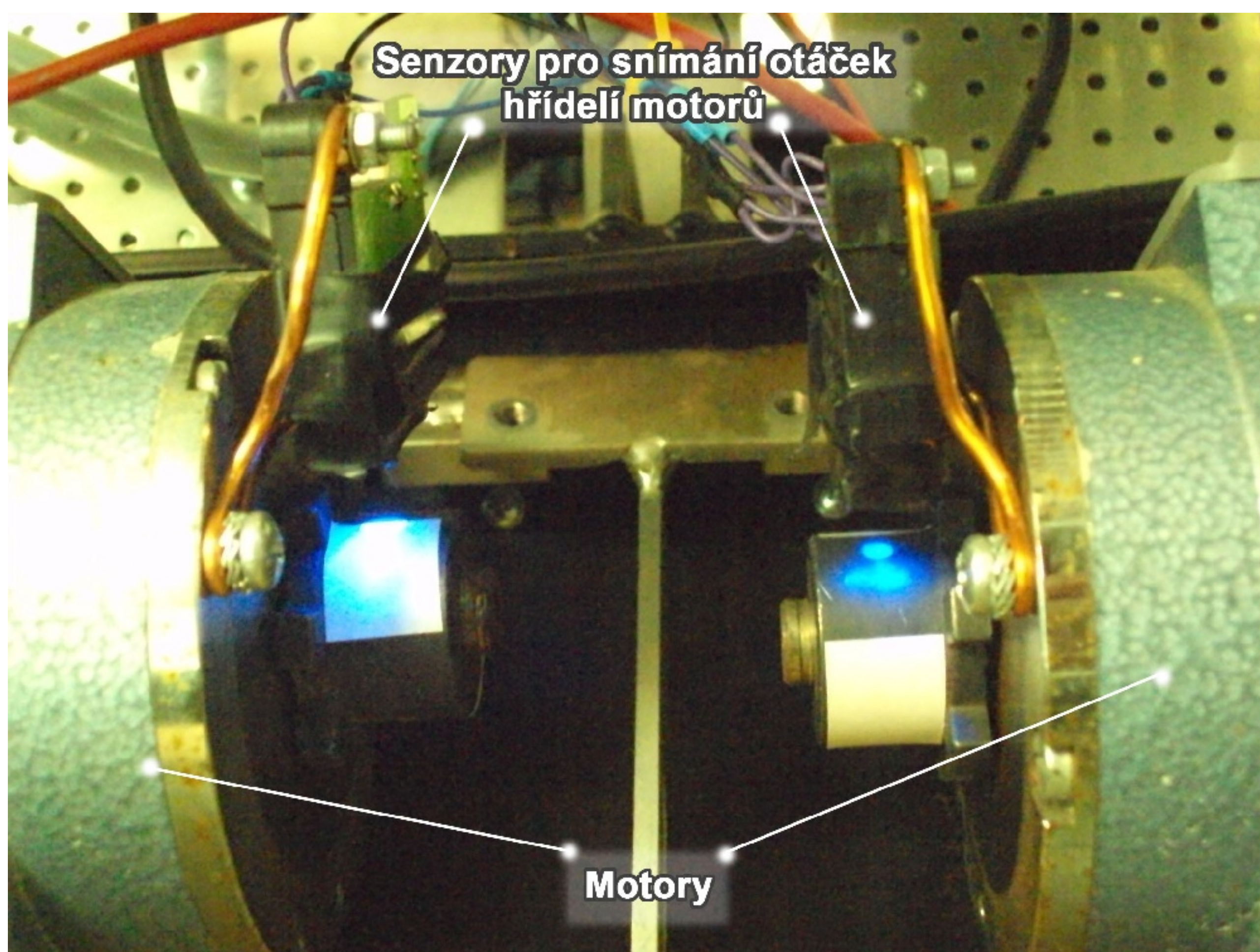
Pohled na řídící elektroniku a senzory



Pohled na řídící elektroniku a senzory



Pohled na řídící elektroniku a výkonové H-můstky



Pohled na senzory snímající počet otáček hřídelí motorů

Na robotovi byly použity tyto moduly MLAB:

HB1FET01A *(Výkonový H-můstek)*
http://www.mlab.cz/Server/GenIndex/GenIndex.php?path=/Modules/H_Bridge&lang=cs

RS232SINGLE01A *(Převodník RS-232 na TTL úrovně)*
http://www.mlab.cz/Modules/CommSerial/RS232SINGLE01A/DOC/RS232SINGLE01A.cs.pdf

USB232R01B *(Převodník USB na RS-232 s TTL úrovněmi)*
http://www.mlab.cz/Modules/CommSerial/USB232R01B/DOC/USB232R01B.cs.pdf

PIC16F84SO1801A *(Modul pro procesor PIC)*
http://www.mlab.cz/Modules/PIC/PIC16F84DIL1801A/DOC/PIC16F84DIL1801A.cs.pdf

PIC16F87xDIL2801A *(Modul pro procesor PIC)*
http://www.mlab.cz/Modules/PIC/PIC16F87xDIL2801A/DOC/PIC16F87xDIL2801A.cs.pdf

PIC16F87xTQ4401B *(Modul pro procesor PIC)*
http://www.mlab.cz/Modules/PIC/PIC16F87xTQ4401B/DOC/PIC16F87xTQ4401B.cs.pdf

BATPOWER02A *(Modul spínaného 5V zdroje)*
http://www.mlab.cz/Modules/PowerSupply/BATPOWER02A/DOC/BATPOWER02A.pdf

NFET4X01A *(Modul výkonových spínačů se čtyřmi N-FET tranzistory)*
http://www.mlab.cz/Modules/PowerSW/NFET4X01A/DOC/NFET4X01A.cs.pdf

Jako nosná deska pro elektronické moduly byla použita základní deska 1621 MLAB.
http://www.mlab.cz/Modules/Universal/BASE162101A/DOC/BASE162101A.cs.pdf

Kontakty:

Martin Kákona:	martin.kakona@i.cz
Jakub Kákona :	kjakub@gmail.com
Martin Povišer:	martin.povik@gmail.com
Kryštof Celba:	kristofc97@gmail.com
Roman Dvořák:	roman-dvorak@email.cz
Lukáš Čížek:	cizelu@gmail.com

5th Robotour Workshop, Bratislava, Slovakia, Sept. 19, 2010

Robozor České Budějovice

Martin Kákona, Jakub Kákona, Martin Povišer, Lukáš Čížek, Josef Szylar, Roman Dvořák, Kryštof Celba
http://www.robozor.cz

ROBOZOR.cz ROBOTICS CLUB

robot Vector

JADERNÁ ELEKTRÁRNA TEMELÍN HLAVNÍ PARTNER

MLAB

EKOLO Jaromír Vegr

UST

Anténa



Senzory



Generování mapy

JOSM

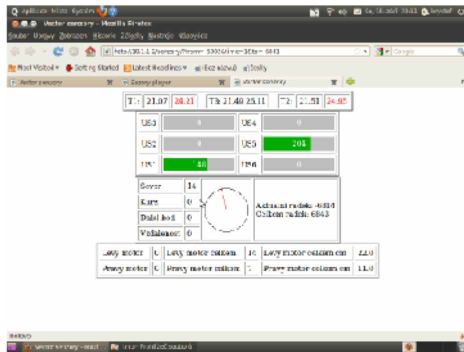
^C ^N ^V C

Antény - pokusy

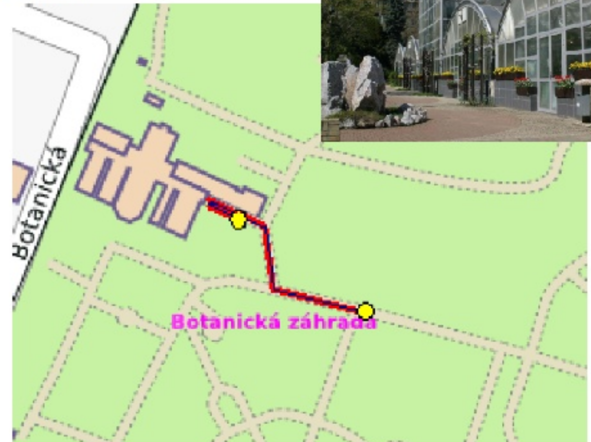
Řízení

-Y +X +Y

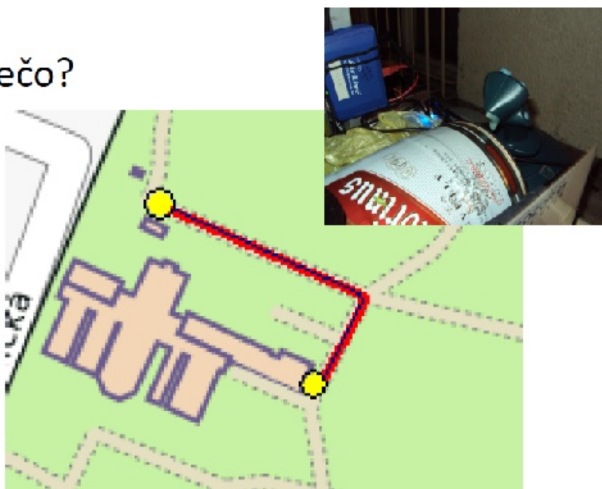
Telemetrie



Prečo?



Prečo?



Prečo?



Prečo?



Prečo?



Radioklub Písek

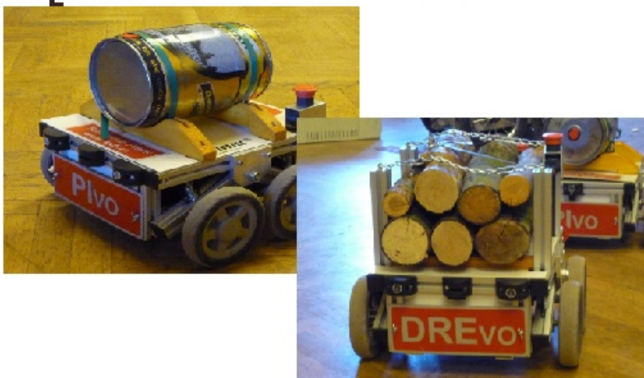
Martin Černý, Pavel Hubka, Karel Kozlík, Milan Říha,
Antonín Seiner, Blanka Seinerová, Martin Stejskal
http://www.kufr.cz/

Roboti





Vagóny





LOko

- LMS100 od společnosti SICK
- 9-osý snímač polohy
- GPS Navilog 303
- PC 800MHz
- OS Debian
- Řídící aplikace v jazyce Python
- Řízení pohonů pomocí AVR ATMEGA8
- Reléový H-můstek
- Palubní napětí 12V

Plvo a DREvo

- Ultrazvukové a infračervené navádění
- Řízení zajišťují dva mikroprocesory ATMEGA8
- Motory Valeo, 12V, s převodovkou
- Palubní napětí 12V
- Reléové H-můstky





Závod

- Ještě na hotelu nám spadl a zasekl se řetěz na LOko
- Během 4 hodin se posunul čas o 25s
- AM/PM error







A podruhé…

Ale nakonec jsme třetí a čtvrtí!



Poděkování

- Organizátorům za vynaloženou energii a úsilí
- Všem členům našeho týmu

Jak na to aneb co (ne)dělejte

- Nedělejte změny strategie
- Na nikoho se nespoléhejte
- Hlavně se snažte nedělat změny těsně před startem
- Zkontrolujte si čas!!!
- Dotáhnětě šroubky alespoň 2x do roka
- Testovat, testovat, testovat

Robotem rovně 2011

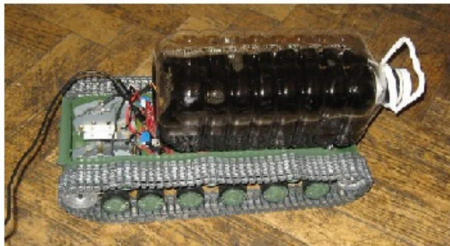
- Všichni jste srdečně zváni již na 3. ročník soutěže „Robotem rovně“
- Kdy? 21.5.2011
- Kde? V Písku, Palackého sady
- Bližší informace na www.kufr.cz

Brmlab Praha

Michal Tuláček, Václav Hula
http://brmlab.cz



Brmbot Outdoor



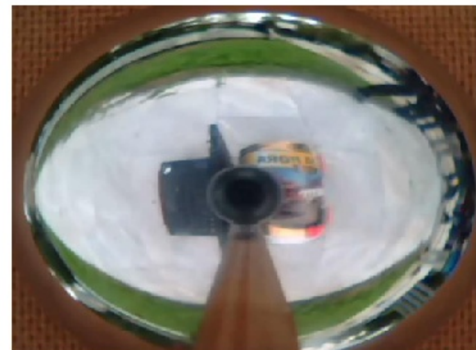
Tescoma spherical mirror



Chassis



Video







- http://brmlab.cz/
- The place for your ideas and projects
- Lots of hackerspaces in Europe
  - Germany, Iceland, Hungary, ….
    http://hackerspaces.org
  - Bratislava – Progressbar
    http://www.progressbar.sk/
  - Brno – Underground hackerspace
  - OK1KPI Písek ☺
- Join us!

5th Robotour Workshop, Bratislava, Slovakia, Sept. 19, 2010

Tatran Team Trenčín

Michal Kukučka, Juraj Ečery, Marek Šutliak
http://www.tatran-team.szm.com/

ŠPECIFIKÁCIA ROBOTA – VŠEOBECNÉ INFO

- Platforma postavená na pásovom podvozku.
- Implementované ručné diaľkové ovládanie.
- Vlastná koncepcia (mechanika, riadiaca elektronika, softvér).
  + spoľahlivosť
  + odolnosť
  + jazdné vlastnosti v teréne
  - použité cenovo dostupnejšie umelohmotné pásy (rýchle opotrebovanie).

LOKALIZÁCIA

- GPS prijímač pripojený cez bluetooth (na strane PC cez virtuálny COM port)
- Spracovanie obrazu – detekcia prevažne zeleno zafarbených objektov (tráva, rastliny, listy) – vyhýbanie sa oblasti mimo cesty.
- Použitie Dijkstrovho algoritmu pre určenie najkratšej cesty vo vektorovom grafe yaloženom na importe OSM exportu mapy, východzej polohy a cieľového bodu.

ROBOT - POHONY

- 2 x jednosmerný 24V motor s prevodovkou
- Riadiaca elektronika – regulácia pomocou PWM, elektronika spracovania stavov snímačov.
- Komunikácia riadacej elektroniky pomocou RS232 (použitý vlastný protokol, AT89s8252, program napisaný v assembleri)
  * vstup: rýchlosti a smery otáčania motorov
  * výstup: aktuálny stav snímačov

SOFTVÉR

- Platforma .NET, jazyk C#
- Použitá knižnica pre video processing obrazu snímaného web kamerou– AForge .NET
- Použitie Dijkstrovho algoritmu pre určenie cesty z grafu zostaveného z dát OSM exportu, štart. polohy a cieľa.
- Vyhodnocovanie stavov snímačov z prednej časti robota (detekcia prekážok)
- Komunikácia:
  * COM rozhranie (cez USB konvertor): riadiaca elektronika,
  * Bluetooth (virtuálny COM): GPS
  * USB: web kamera

ROBOT – DETEKCIA

- 5 x optický difúzny snímač Balluff (detekcia prekážok pred robotom)
- 2 x IR snímač (snímanie bočných prekážok pri otáčaní) – neimplementované
- USB WEB kamera (800 x 600 pixels) – detekcia cesty.
- GPS Navilock BT-413 – detekcia aktuálnej polohy

THE END ☺



List of Authors